سلسلة تربية محاصيل الخضر

مبادئ تربية محاصيل الخضر

تأليف

أ.د. أحمد عبد المنعم حسن

أستاذ الخضر

كلية الزراعة ــ جامعة القاهرة

يطلب من كبرى دور النشر والمكتبات بمصر والعالم العربى

الطبعة الأولى ٢٠١٧

مبادئ تربية محاصيل الخضر

حسن، أحمد عبد المنعم
مبادئ تربية محاصيل الخضر / تأليف أحمد عبد المنعم حسن.
ط١.- القاهرة: ٢٠١٧م.
٢٦٠ ص، ١٧ × ٢٤- (سلسلة تربية محاصيل الخضر).
تدمك: ٥- ١٨٤ - ٧٣٦ - ٩٧٧- ٩٧٨
١. الخضر
٢. تربية النبات
أ. العنوان
٢٠١٦/٢١٣٦٦

الطبعة الأولى
١٤٣٨هـ -٢٠١٧م

رقم الإيداع: ٢١٣٦٦ /٢٠١٦
تدمـــــك: ٥- ١٨٤ - ٧٣٦ - ٩٧٧- ٩٧٨

توزيـــع

القاهرة: الدار العربية للنشر والتوزيع الحديثة (دربالة) -دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع.

الجيزة: المكتبة الأكاديمية

المنصورة: المكتبة العصرية.

وكذلك يطلب من كبرى دور النشر والمكتبات بمصر والعالم العربى

المقدمة

يشتمل هذا الكتاب على مبادئ تربية محاصيل الخضر، وبعض مجالات تربية وتحسين الخضر بصورة عامة. وذلك دون التطرق إلى تفاصيل أُسس وطرق تربية النبات، أو تطبيقات التربية فى كل محصول من الخضر على حدة. وبذا.. فإن الكتاب يتناول جانبًا من تربية الخضر يُعد وسطًا بين جوانب أسس وطرق تربية النبات بصورة عامة — والتى يتعين الإلمام بها — وجوانب تربية محاصيل الخضر كل على حدة، وكذلك جوانب أخرى من المجالات الهامة لتربية النبات.

وقد سبق للمؤلف الكتابة فى جميع هذه المواضيع، وهى: الأسس العامة لتربية النبات (حسن ٢٠٠٥ أ)، وطرق تربية النبات (حسن ٢٠٠٥ ب)، وتحسين الصفات الكمية (حسن ٢٠٠٥ ج)، بالإضافة إلى كل من: تربية محاصيل الخضر (حسن ١٩٩٣)، والتكنولوجيا الحيوية وتربية النبات (حسن ٢٠٠٧)، وتطبيقات تربية النبات فى مكافحة الأمراض والآفات (حسن ٢٠٠٨)، وتربية النبات لتحمل الظروف البيئية القاسية (حسن 2013). ومن المراجع الأخرى التى تناولت تربية محاصيل الخضر — كل على حدة. كلاً من: Bassett (١٩٨٦)، وKallo & Bergh (١٩٩٣)، و Gupta (٢٠٠٠)، و Charrier وآخرين (٢٠٠١)، و Kole (٢٠٠٧).

آمل أن يلبى هذا الكتاب احتياجات دارسى تربية محاصيل الخضر الذين يرغبون فى الإلمام بالموضوع بصورة عامة دون الدخول فى تفاصيل تربية كل محصول على حدة؛ وأرجو من الله أن أكون قد وفقت لتحقيق هذا الهدف.

أ.د. أحمد عبد المنعم حسن

أستاذ الخضر

كلية الزراعة — جامعة القاهرة



محتويات الكتاب

الصفحة

الصفحة

الفصل السادس

الفصل السابع

الصفحة

الفصل الثامن

الصفحة

الصفحة

الفصل الأول

مقدمـــات

اهتمامات المربى فى تربية محاصيل الخضر

يهتم مربى محاصيل الخضر — عادة — بعديد من الصفات التى تخص المحصول وصفات الجودة وتحمل عديد من عوامل الشد البيئى والبيولوجى. هذا إلاّ أن المحصول فى تلك الخضر لا يكون ممثلاً فقط بعدد الأطنان التى تُنتج من وحدة المساحة، ولكن الأهم هو نسبة ما يمكن حصاده منها ونقله إلى الأسواق فى حالة وبسعر مناسبين للمستهلك. وقد تتضمن الجودة صفات الطعم واللون والشكل والحجم ومدى الأضرار التى تحدث للمنتج (مدى تحمله للأضرار أثناء الحصاد والتداول) ومستويات العناصر الغذائية، والصفات التى تتعلق بالأمان واستدامة المحافظة على البيئة (كالمقاومة للأمراض والآفات). وبينما قد ترتبط بعض الصفات المرغوب فيها ببعضها البعض، فإنه قد توجد ارتباطات غير مرغوب فيها، وتلك تسبب مشاكل للمربى، وخاصة إذا كان مردها لتأثيرات متعددة للجينات. ويتبين مما تقدم بيانه أن أول التحديات التى تواجه المربى هى تحديد أى الصفات هى الأهم والأكثر مناسبة لبرنامج التربية (Luby & Shaw ٢٠٠٩).

هذا وتتجه شركات البذور بقوة نحو إنتاج الأصناف الهجين؛ لتتمكن من الاستحواذ على إنتاج بذور الهجن التى تتوصل إليها. وتزداد حصة بذور الأصناف الهجين التى تُنتج — سنويًا — على مستوى العالم بنسبة ٨٪–١٠٪ من إجمالى بذور محاصيل الخضر المعروضة بالأسواق. ولقد قُدِّر أن أكثر من ثلثى ٥٠٠٠ صنف غير هجين من الخضر — التى كانت متاحة فى كتالوجات البذور بشركات أمريكا الشمالية فى عام ١٩٨٤ — قد أُسقطت من تلك الكتالوجات بحلول عام ٢٠١٠، أى فى خلال ٢٥ عامًا (da Silva Dias ٢٠١٠).

مراكز النشؤ والتباين الوراثى لمحاصيل الخضر

يُعتقد بأن المراكز الرئيسية لنشأة محاصيل الخضر (موطن محاصيل الخضر — حسب تقسيم فافيلوف — كما يلى:

المركز الرئيسى (الموطن)	الخضر
الصين (وسط وغرب الصين)	فول الصويا — الفجل — الكرنب الصينى — البصل اليابانى الأخضر- الخيار
شمال شرق الهند وبورما	فاصوليا المنج — اللوبيا — الباذنجان — القلقاس — الخيار — اليام
وسط آسيا (الهند وأفغانستان)	البسلة — الفول- فاصوليا المنج — المسترد — البصل — الثوم — السبانخ — الجزر.
حوض البحر الأبيض المتوسط	البسلة — بنجر المائدة — الكرنب- اللفت — الخس- الكرفس — الشيكوريا — الأسبرجس — الجزر الأبيض — الروبارب
الحبشة	اللوبيا — كرسون الحديقة — البامية
أمريكا الوسطى والجنوبية	الذرة — الفاصوليا — فاصوليا الليما — القرع العسلى — الشايوت — البطاطا — الفلفل
الإكوادور وبيرو وبوليفيا	البطاطس — فاصوليا الليما — الفاصوليا — الطماطم — القرع العسلى — الحرنكش — الفلفل
شيلى	البطاطس
البرازيل وباراجواى	الكاسافا

وإلى جانب مراكز نشؤ محاصيل الخضر، فإن الخضر تتباين كثيرًا وراثيًا فى مراكز عديدة يُعد كلاً منها مركزًا أوليًا لتباينات بعض الخضر، ومركزًا ثانويًا لتباينات بعض الخضر الأخرى كما يتبين من جدول (١-١).

جدول (١-١) مراكز التباين الوراثى لمحاصيل الخضر الرئيسية (Kumar & Peter ٢٠٠٠).

مركز التباين الوراثى	المراكز الأولية	المراكز الثانوية
• الصين واليابان	الباذنجان – الجورد الشمعى – الكرنب الصينى	البطيخ – الأمارانث
• الهند الصينية (Indo-chinese) •	الجورد المر – القلقاس – الشايوت – الخيار	الكرنب الصينى – اليقطين – الفاصوليا – اليام – الأمارانث
• الهندستان (شمال الهند) hindstan	الباذنجان – الجورد الشمعى – الخيار – الجورد المر – البامية	البطيخ – اليقطين – الأمارانث
• وسط آسيا	البصل – الثوم – الجزر – السبانخ	الباذنجان – البطيخ – القنبيط – البامية
• الشرق الأدنى	البصل – الثوم – الكرات – البنجر	
• حوض البحر الأبيض المتوسط	الكرنب– القنبيط – البروكولى – الفجل	الفلفل الحلو – الثوم – البامية
• أفريقيا جنوب الصحراء	الباذنجان – البطيخ – اليقطين – اللوبيا – البامية	البصل – فاصوليا الليما – الأمارانث
• أمريكا الوسطى والمكسيك	الطماطم– الفلفل الحار – القرع العسلى – الكوسة – اليام – الفاصوليا – البطاطا	–
• أمريكا الجنوبية	الطماطم – الفلفل الحار – الكاسافا	
• أمريكا الشمالية	الخرشوف	الطماطم – الباذنجان – الكنتالوب – الكوسة – البصل – الخس – فاصوليا الليما

جيرمبلازم الخضر

يعتقد بأن الثروة الوراثية للخضر تتعرض للفقدان بنسبة تتراوح بين ١٪– ٢٪ سنويًا. ويُحاول مربو النبات المحافظة على تلك الثروة بجمع الجيرمبلازم من مناطق

انتشاره ونموه. كذلك يعمل المربون على تحسين مختلف الخضر من خلال برامج التربية.

وقد قُدرت أعداد محاصيل الخضر فى مختلف أنحاء العالم بـ ٣٩٢ محصولاً مزروعًا يمثلون ٧٠ عائلة، و ٢٢٥ جنسًا. وقد استُبعد من هذا الحصر الأنواع النباتية غير المزروعة، والنباتات الدنيئة (مثل الفطريات)، ومعظم الأشجار والشجيرات الخشبية، والنباتات التى تنمو فى الماء الملحى أو تُجمع منه. وتمثل محاصيل الخضر التى تُستهلك منها أوراقها أو نمواتها الخضرية الحديثة ٥٣٪ من إجمالى تلك الخضر، تليها الخضر الثمرية بنسبة ١٥٪، فالخضر التى تزرع لأجل أجزائها تحت الأرضية بنسبة ١٧٪، وهى التى تترتب تنازليًا حسبما إذا كان الجزء المستهلك منها جذورًا، أم درنات، أم ريزومات، أم كورمات، أم سيقانًا أرضية مدادة stolons. ومن بين جميع محاصيل الخضر، فإن ٦٧ نوعًا فقط — أو نحو ١٧٪ منها — هى التى حظيت باهتمام المربين فى شركات إنتاج البذور بسبب قيمتها الاقتصادية العالية من حيث المساحة المزروعة والإنتاج، واعتبر ٥٢ نوعًا محصوليًا (١٣٪) ثانويًا، و ٨٥ نوعًا (٢٢٪) نادرًا (da Silva Dias ٢٠١٠).

أعداد الجينات فى النباتات

إن تقديرات أعداد الجينات التى تحملها مختلف الأنواع النباتية كبيرة للغاية؛ فهى تقدر بأكثر من ٢٥٠٠٠ جين فى الـ *Arabidopsis*، و حتى ٤١٠٠٠ جين فى الأرز، وأكثر من ٤٥٠٠٠ جين فى الحور، وأكثر من ٤٠٠٠٠ جين فى كل من الـ *Medicago* والـ *Lotus*. هذا.. على الرغم من أن تقديرات أعداد الجينات فى أسلاف مغطاة البذور لم تكن تتعدى ١٢٠٠٠ –١٤٠٠٠ جين، لكن يبدو أن الزيادة الكبيرة فى أعداد الجينات حدثت جراء تضاعفات جينية صغيرة أو كبيرة حدثت بأعداد ضخمة، وتم الحفاظ عليها خلال مراحل التطور النباتى (Sterck وآخرون ٢٠٠٧). وتُشير هذه الأرقام لأعداد الجينات إلى الاحتمالات غير المحدودة لتحسين النباتات من خلال برامج التربية.

هذا.. إلا أن الاستفادة المثلى من تلك الثروة الهائلة من الجينات النباتية تتطلب المحافظة عليها من الاندثار بجمع الجيرمبلازم من مراكز التباين الوراثى والمحافظة عليه. وتعمل أجهزة متعددة – وطنية وإقليمية ودولية – على تحقيق هذا الهدف، حيث يتوفر فيها مئات الآلاف من الأصول الوراثية من مختلف الأنواع النباتية، ولعل أضخمها وأكثرها تنظيمًا جهاز الجيرمبلازم النباتى الوطنى بالولايات المتحدة الأمريكية.

جهاز الجيرمبلازم النباتى الوطنى بالولايات المتحدة

يُدَار جهاز الجيرمبلازم النباتى الوطنى National Plant Germplasm System ويُنفق عليه – أساسًا – بواسطة الـ Agricultural Research Service (اختصارًا: ARS) بوزارة الزراعة الأمريكية، ولكن مع دور جوهرى فى التشغيل والإنفاق لمحطات التجارب الزراعية الخاصة بالولايات. وتشمل الوظائف الأساسية للجهاز اقتناء الجيرمبلازم النباتى ذات القيمة الاقتصادية، وحفظه، وتقييمه، وتوزيعه بحرية لأجل الدراسة والبحث بأى مكان من العالم.

يتكون الجهاز من الوحدات التالية:

١– مجموعات الجيرمبلازم فى محطات الإدخال النباتية الإقليمية Regional Plant Introduction Stations (اختصارًا: RPIS) فى كل من:

Ames, Iowa

Griffen, Georgia

Geneva, New York

Pullmam, Washington

٢– مستودعات الجيرمبلازم – الخضرى التكاثر – الوطنى National Clonal Germplasm Repositories (اختصارًا: NCGR) فى كل من:

Brownwood, Texas

Corvallis, Oregon

Davis, California

Geneva, New York

Hilo, Hawaii

Miami, Florida/Mayaguez, Puerto Rico

Orlando, Florida

Riverside/Brawley, California

٣- عديد من المواقع الأخرى التى تختص بمحاصيل مفردة ومجموعات من الأصول الوراثية.

٤- مخزن البذور الوطنى National Seed Storage Laboratory (اختصارًا: NSSL) فى Fort Collins بولاية كلورادو Colorado.

٥- معمل خدمات الجيرمبلازم Germplasm Services Labaratory (اختصارًا: GSL). يؤدى المعمل خدماته من خلال عدد من المكاتب هى:

Plant Introduction Office (PIO)

Plant Exploration Office (PEO)

Germplasm Resources Information Network (GRIN)

Database Management Unit (DBMU)

٦- معمل الحجر الزراعى للجيرمبلازم النباتى Plant Germplasm Quarantine Laboratory (اختصارًا: NPGQL) التابع لمعهد العلوم النباتية Plant Science Institute فى Beltsville بولاية Maryland (عن Shands & White ١٩٩٠).

الإنجازات التاريخية لاستخدامات الجيرمبلازم فى تربية وتحسين محاصيل الخضر

لعب الجيرمبلازم الذى تم جمعه بمعرفة وزارة الزراعة الأمريكية دورًا تاريخيًا كبيرًا فى تحسين محاصيل الخضر، والأمثلة على ذلك كثيرة، نذكر منها ما يلى:

١- البطيخ

تمكن Orton فى عام ١٩١١ من إنتاج صنف البطيخ Conqueror المقاوم للذبول الفيوزارى، وهو الذى استمد مقاومته من بطيخ برى (سترون citron) أفريقى غير صالح للاستهلاك. وتبع ذلك استخدام الصنف Conqueror — الذى لم يحظ بقبول لدى المزارعين بسبب عدم جودة صفاته البستانية — كمصدر فى برامج تربية البطيخ لمقاومة الذبول الفيوزارى.

٢- الصليبيات

أمكن إنتاج خمس سلالات تربية من الكرنب مقاومة لمرض العفن الأسود استمدت مقاومتها من صنف يابانى. كما وجدت صفة المقاومة للبياض الزغبى فى *Brassica* sp. فى عدة سلالات من السويد (PI 296131، و PI 205993، و PI 205994) والبرتغال (PI 189028) وفرنسا (PI 245015)، كما وجدت المقاومة لفيرس موزايك القنبيط فى سلالات من الدانمرك (PI 225858، و PI 225860) وإيران (PI 229747).

٣- البصل

اكتشف Henry A. Jones فى عام ١٩٢٥ نبات عقيم الذكر من الصنف Italian Red، هو رقم: 53-13، أمكن إكثاره — حينها — بالبلابل الزهرية bulblets؛ ليصبح أهم نبات فى تاريخ تربية البصل، حيث تبين أن صفة عقمه الذكرى كانت وراثية سيتوبلازمية (Smsms)، وهى الصفة التى استخدمت فى إنتاج جميع أصناف البصل الهجين فى الولايات المتحدة لعدة عقود.

ومن المصادر الوراثية الأخرى الهامة التى تم اكتشافها فى جيرمبلازم البصل المقاومة للتربس فى الصنف الإيرانى White Persian، والمقاومة لذبابة البصل فى السلالة التركية PI 344251.

٤- الكنتالوب

اكتشفت المقاومة للبياض الدقيقى فى أصناف هندية من الكنتالوب المستخدم فى الطهى، وهى التى استخدمت فى إنتاج أول صنف مقاوم للسلالة 1 من الفطر المسبب للمرض (الصنف: PMR 50) فى عام ١٩٣٢. وتبع ذلك إنتاج أصناف أخرى مقاومة للسلالة 2 بالإضافة إلى السلالة 1 واستمدت مقاومتها من السلالتين الهنديتين PI 124111، و PI 124112.

٥- الخيار

كانت أبكر جهود التربية فى الخيار تلك التى استخدم فيها الصنف Chinese Long فى إنتاج خيار مقاوم لفيرس موزايك الخيار، وذلك فى عام ١٩٢٦. كما اكتشفت المقاومة لنفس الفيرس — كذلك — فى الصنف اليابانى Tokyo Long Green، وهما المصدران اللذان استخدمهما H. M. Munger فى إنتاج أصناف محسنة مقاومة للفيرس، والتى بدأت بالصنفين Tablegreen و Marketmore.

كذلك استخدمت السلالة الهندية PI 197087 كمصدر لمقاومة كل من الأنثراكنوز والبياض الزغبى فى برامج التربية لإنتاج أصناف مقاومة من الخيار.

واعتمد إنتاج أول سلالة أنثوية gynoecious من الخيار (وهى: MSU 713-5) — فى عام ١٩٦٠ — على السلالة الكورية Shiogoin (وهى: PI 220860) التى حُصل منها على صفة حمل الأزهار المؤنثة فقط.

ومن المصادر الوراثية الأخرى فى الخيار السلالة اليابانية PI 212233 التى حُصل منها على صفة المقاومة للبياض الدقيقى، وسلالتا بورما: PI 200815، و 200818

اللتان حُصل منهما على صفة المقاومة للذبول البكتيرى، والسلالة الهولندية PI265887 التى حُصل منها على صفة عدم مرارة الثمار، وأصناف خيار الصوبات الأوروبية التى حُصل منها على صفة العقد البكرى للثمار.

٦- الكوسة

وُجدت مستويات جيدة للمقاومة لكل من خنفساء الكوسة وخنافس الخيار فى سلالات من كل من *Cucurbita pepo*، و *C. moschata*، و *C. maxima*، كما وُجدت صفة المقاومة لكل من البياض الدقيقى والبياض الزغبى فى السلالة الهندية PI 135893 من *C. maxima*، والمقاومة لفيرس موزايك الخيار فى السلالة التركية PI 176959 من *C. pepo*.

٧- البسلة

وجدت المقاومة لفيرس الموزايك المحمول بالبذور فى سلالتين من البسلة فى عام ١٩٧١، كما استخدمت مقاومة السلالة الإيرانية PI 140295 لفيرس الـ pea enation mosaic فى إنتاج ثلاثة أصناف مقاومة للفيرس.

٨- الخس

حُصِلَ على المقاومة للبياض الزغبى — ابتداءً — من عدة سلالات روسية من *Lactuca serriola*، وهى التى استخدمت فى عام ١٩٣٢ فى إنتاج أصناف مقاومة من الخس. وكان لاستخدام السلالات الروسية — وخاصة PI 91532 — والسلالة التركية PI 167150 — التى حُصل عليها فى عام ١٩٤٩ — الفضل فى إنتاج سلسلة من أصناف الخس المقاومة. وتبع ذلك ظهور سلالات جديدة كثيرة من الفطر الممرض، واختيار مزيد من السلالات التى حُصل منها على صفة المقاومة لتلك السلالات.

واكتشفت صفة المقاومة لفيرس موزايك الخس فى ثلاث سلالات مصرية، هى: PI 251245، و PI 251246، و PI 251247، وهى التى استخدمت فى إنتاج أول أصناف الخس المقاومة للفيرس.

٩- الفاصوليا

اكتشفت صفة المقاومة لعفن الجذور الفيوزارى فى السلالة PI 203958، وهى التى استخدمت فى إنتاج أول الأصناف التجارية المقاومة للمرض فى عام ١٩٧٤. كذلك اكتشفت المقاومة لثلاث سلالات من الذبول البكتيرى فى السلالة التركية PI 165078 بعد تقييم أكثر من ١٥٠٠ سلالة من الفاصوليا.

ومن المصادر الوراثية الأخرى الهامة التى اكتشفت المقاومة للفحة العادية فى السلالة الكولومبية PI 207262، والمقاومة لكل من فيروسى الموزايك العادى والموزايك الأصفر فى كل من السلالة التركية PI 169754 والسلالة الإسبانية PI 226856، والسلالة الكولومبية PI 207203، ومصادر أخرى كثيرة لمقاومة كل من اللفحة الهالية وخنفساء الفاصوليا المكسيكية ونطاطات الأوراق.

ومن التطورات الهامة بالنسبة للفاصوليا اكتشاف سلالات ذات محتوى مرتفع من الحامض الأمينى الضرورى methionine (مثل: PI 180750 وغيرها)، وأخرى على درجة عالية من الكفاءة فى استخدام البوتاسيوم (مثل PI 177760 وغيرها).

١٠- الطماطم

من بين الاستخدامات المبكرة للجيرمبلازم فى تربية الطماطم إدخال صفات المقاومة لكل من الذبول الفيوزارى من السلالة PI 79532 من *Solanum pimpinellifolium* (وهو النوع الذى استخدم — كذلك — كمصدر للمقاومة لكل من الذبول المتبقع وعفن الرقبة واستمفِللم)، والمقاومة لذبول فيرتسيلّم من السلالة PI 128650 من *S. peruvianum*، وكذلك المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور من السلالة PI 128657، وللندوة المتأخرة من السلالة التركية PI 204587، والمحتوى العالى من فيتامين جـ من السلالة PI 126946.. وجميعها من النوع *S. peruvianum*.

١١- البطاطس

من بين ١٢٠ صنفًا من البطاطس أُنتجت فى الولايات المتحدة خلال الفترة من ١٩٣٠ إلى ١٩٧٠ احتوى ١١٣ صنف منها على خلفية وراثية من اثنين أو أكثر من سلالات الجيرمبلازم. ولقد أمكن الاستفادة من الجيرمبلازم البرى كمصدر لمقاومة عديد من الأمراض مثل الندوة المتأخرة من *Solanum demissum* وغيرها من مسببات الأمراض الفطرية والبكتيرية والفيروسية والنيماتودية، وكمصدر لعديد من صفات الجودة، مثل: المحتوى المرتفع من المادة الجافة والبروتين، وكذلك تحمل الصقيع ومختلف الظروف البيئية القاسية.

البطاطا

استخدم الجيرمبلازم البرى كمصدر لمقاومة كل من العفن الأسود، والذبول الفيوزارى، وفيرس الفلين الداخلى، وعفن التربة، ونيماتودا تعقد الجذور. ومن أكثر السلالات التى استخدمت كمصدر لمقاومة الذبول السلالة PI 153655.

الجزر

استخدمت سلالات برية من الجزر كمصدر لصفة العقم الذكرى السيتوبلازمى، كما وجدت المقاومة للفحة أوراق ألترناريا فى السلالة اليابانية Kobuku (وهى: PI 261648).

السبانخ

وجدت صفة المقاومة لكل من فيرس موزايك الخيار 1 والبياض الزغبى فى السلالات PI 140467، و PI 20026، و PI 179590.

ولمزيد من التفاصيل حول الاستخدامات المبكرة للجيرمبلازم البرى — الذى جُمع

بمعرفة وزارة الزراعة الأمريكية – فى تحسين محاصيل الخضر.. يُراجع Peterson (١٩٧٥).

كذلك يتناول Hajjar & Hodgkin (٢٠٠٧) بالشرح موضوع استخدام الأقارب البرية للأنواع المحصولية المزروعة فى التربية بنقل الجينات المرغوب فيها من الأنواع البرية إليها.

الفصل الثانى

تاريخ تربية محاصيل الخضر

الجهود المبكرة فى مجال تربية الخضر

تركزت معظم الجهود المبكرة فى مجال تربية محاصيل الخضر — منذ اكتشاف قوانين مندل فى عام ١٩٠٠ ولمدة ثلاثين عامًا — على دراسات وراثة الصفات؛ الأمر الذى قدم له Crame & Lawrence — بالتفصيل — فى كتابهما: " The Genetics of Garden Plants" (Crame & Lawrence ١٩٣٤)، والذى نوجز منه — فيما يلى— بعض جوانب وراثة الصفات فى بعض المحاصيل.

الطماطم

حظيت الطماطم بنصيب وافر من دراسات وراثة الصفات؛ فقد وجد ما يلى:

١- يتحكم زوجان من الجينات فى لون الثمرة، منهما زوج يتحكم فى لون اللُب (اللحم) وزوج يتحكم فى لون الجلد، كما يلى:

R : لُب أحمر ، r : لب أصفر

Y : جلد معتم بلون أصفر قاتم ، y: لب شفاف عديم اللون تقريبًا.

وتكون الأشكال المظهرية، كما يلى:

RY: ثمار حمراء ساطعة اللون Ry: ثمار حمراء باهتة اللون

rY: ثمار صفراء برتقالية ry: ثمار صفراء شاحبة (كريمية تقريبًا)

٢- تتحكم جينات أخرى فى مجموعة من الصفات، كما يلى:

A_1-: توجد الصبغة الأنثوسيانينية فى السيقان وعروق الأوراق، وتكون السيقان قرمزية، ويعطى التركيب الوراثى المتنجى a_1a_1 سيقانًا خضراء اللون.

A_2–: توجد الصبغة الأنثوسيانيية فى السيقان وعروق الأوراق، وتكون السيقان قرمزية فى البداية، ثم تصبح خضراء اللون بمرور الوقت، ويُعطى التركيب الوراثى المتنحى a_2a_2 سيقانًا خضراء.

D–: النمو المتقزم، ويقابله dd للنبات الطويل العادى.

C–: الورقة العادية، ويقابله cc شكل ورقة البطاطس.

L–: الورقة الخضراء، ويقابله ll للوراقة الصفراء.

H–: الورقة الملساء التى توجد بها شعيرات طويلة وغدد كبيرة، ويقابله hh لحالة الأوراق الزغبية.

S–: النورة البسيطة العادية، ويقابله cc للنورة المركبة كثيرة التفرع (compound).

Sp–: النورة البسيطة العادية، ويقابله spsp حالة التقليم الذاتى selfpruning التى ينتهى فيها النمو بنورة (حالة النمو المحدود determinate).

Lf–: النورة البسيطة العادية، ويقابله lflf للنورة المتورقة (leafy).

Wt–: النمو الخضرى الطبيعى، ويقابله wtwt للنمو الخضرى الضارب للبياض.

P–: الثمار الناعمة، ويقابله pp للثمار الزغبية.

U–: الثمار ذات الكتف الأخضر قبل النضج، ويقابله uu للثمار المتجانسة التلوين قبل النضج (uniform green).

F–: الثمار المنتظمة الشكل، ويقابله ff للثمار المفصصة.

O–: الثمار العادية، ويقابله oo للثمار الطويلة.

N–: الثمار العادية، ويقابله nn للثمار ذات الحلمة nipple tipped.

T–: لب أحمر، ويقابله tt للثمار ذات اللب البرتقالى المحمر tangerine.

البسلة

نظرًا لسهولة إجراء التلقيحات فى البسلة، ولأنها المحصول الذى أجرى عليه مندل دراساته، فقد حظيت — هى الأخرى — بعديد من الدراسات الوراثية فى بدايات القرن العشرين، والتى تبين منها ما يلى:

عُرِفت عدة جينات تتحكم فى تكوين صبغة الأنثوسيانين فى مختلف أجزاء النبات، منها التركيب الوراثى —A للأزهار الملونة، ويقابله aa للأزهار البيضاء (الجين A أساسى لكى يظهر اللون للبتلات فى وجود جينات أخرى)، والتركيب الوراثى —Ar للأزهار الأرجوانية اللون ويقابله arar للأزهار البنفسجية و —B للأزهار الأرجوانية اللون، ويقابله bb للأزهار ذات اللون الوردى السلمونى، و —Am للأزهار الأرجوانية ويقابله amam للأزهار البيضاء الوردية، و —Da لوجود صبغات فى آباط الأوراق ويقابله dada لعدم وجود الصبغات، و —W لقصرة البذرة المتجانسة الصبغ، ويقابله ww لقصرة البذرة المبقعة أو الخالية من الصبغات.

—I: الفلقات صفراء، ويقابله ii للفلقات الخضراء، ويتحدد اللون بالجين O.

—O: الفلقات خضراء اللون والساق خضراء، ويقابله oo للفلقات الصفراء الكريمية والساق الشاحبة اللون، ولا تكون الفلقات خضراء تمامًا إذا كانت البذور مجعدة.

—Gp: القرون خضراء، ويقابله gpgp للقرون الصفراء.

—Wb: النمو الخضرى الأخضر، ويقابله wbwb للنمو الخضرى الأبيض، وهى النباتات التى تموت فى طور البادرة.

—Le: النباتات طويلة وذات سلاميات طويلة، ويقابلها lele للنباتات المتقزمة ذات السلاميات القصيرة.

—La، و —Lb: النباتات متقزمة وذات سلاميات قصيرة، ويقابلها lala، و lblb للنباتات ذات السلاميات الطويلة جدًّا، علمًا بأن Le متفوق على كل من La، و Lb.

Tl : المحاليق طبيعية، ويقابله tltl لوجود أوراق مكان المحاليق، علمًا بأن السيادة غير تامة.

–St : الأذينات طبيعية، ويقابله stst للأذينات الصغيرة جدًا.

–K : أجنحة الزهرة طبيعية، ويقابله kk للأجنحة غير الطبيعية المتحورة مثل الزورق.

–Bt^a ، و –Bt^b: القرون ذات نهاية مستوية، وفى غياب أى من العاملين السائدين — أو كلاهما — تكون القرون ذات نهاية مدببة.

–Em^1 ، و –Em^2 السيقان طبيعية، وفى غياب كلا الجينين السائدين تتحور السيقان إلى محاليق.

–Fa : الساق طبيعية، ويقابله fafa للساق المسطحة fasciated.

–Cp : القرون مستقيمة، ويقابله cpcp للقرون المنحنية.

–P، و –V : القرون عادية صلبة وفى غياب أى من الجينين السائدين تكون القرون غضة مأكولة (سكرية).

–Lf : الزهرة الأولى فى موضع مرتفع من الساق (إزهار متأخر)، ويقابله ll للإزهار المبكر؛ علمًا بأن السيادة ليست تامة وتتأثر الصفة بعديد من الجينات الأخرى.

–N : طبيعة النمو عادية، ويقابله nn للنمو الخضرى المستدق المطاول الصغير.

Fe : قرون طبيعية وأزهار خصبة، ويقابله fefe للكربلة المنشقة على امتداد خط الاتصال الظهرى suture، وتكون الأزهار عقيمة تمامًا، والأوراق مطاولة والأزهار غير طبيعية.

–Pl : النقير أسود، ويقابله plpl للنقير غير الملون.

–R : البذور ملساء مستديرة ونشا الفلقتان بسيط، ويقابله rr للبذور المجعدة ونشا الفلقتان المركب.

M–: قصرة البذرة مُعرَّقة بالبنى، ويقابله mm للقصرة غير المعرَّقة بالبنى.

S–: البذور حرة فى القرن، ويقابله ss للبذور الملتصقة (brochette).

Gl^a– ، وGl^b–: يوجد شمع على السيقان والأوراق والقرون، ويؤدى غياب أى من الجينين السائدين إلى غياب الشمع.

الفجل

يُعد لون الجذور الأصفر صفة بسيطة وسائدة على الأبيض، ولون الجذور الأحمر صفة بسيطة ذات سيادة غير تامة على اللون الأبيض؛ حيث يكون الجيل الأول ذات جذور بلون أرجوانى، وصفة لون الجذور الأحمر المخطط سائدة على الأبيض، وكانت نباتات الجيل الأول للتلقيح بين النباتات ذات الجذور الكروية والنباتات ذات الجذور الطويلة المستدقة .. كانت ذات جذور مطاولة، وظهرت عدة انعزالات لأشكال الجذور فى الجيل الثانى.

الخس

إن صفة وجود الصبغات الأنثوسيانينية بالأوراق بسيطة وسائدة على صفة غياب الصبغات، وكذلك فإن صفة البذور السوداء بسيطة وسائدة على صفة البذور البيضاء، بينما كانت صفات طول الورقة وعرضها ومساحتها وطول النبات والنمو المتورد والوقت حتى الإزهار كانت جميعها صفات كمية. وكان الخس من أول الخضر التى دُرست فيها وراثة صفة المقاومة للأمراض، حيث وجدت مصادر لمقاومة الفطر المسبب للبياض الزغبى وكانت الصفة بسيطة وسائدة على القابلية للإصابة.

البصل

أُجريت عديد من الدراسات المبكرة على صفة لون الأبصال؛ حيث عُرِّفت عدة جينات، هى: W للصبغة الحمراء (الأنثوسيانين)، وWy للصبغة الصفراء (الفلافون

flavone)، وw_y للون الأبيض (غياب الصبغات)، و I للتثبيط غير التام للصبغات (الأنثوسيانين والفلافون)، وi_i للسماح بظهور اللون وتكوين الصبغات.

بنجر المائدة

حظى لون جذور بنجر المائدة بدراسة وراثية توصلت إلى أن الألوان (الأحمر الذى يرجع إلى صبغة الأنثوسيانين والأصفر والأبيض) يتحكم فيها زوجان من الجينات، كما يلى: –G–R: الجذور حمراء، وG-rr: الجذور صفراء، و ggrr: الجذور بيضاء.

الخيار

وجد أن صفات لون الثمار وحجمها وعدد الأشواك بها ونعومة أو خشونة الجلد كان يتحكم فى كل منها زوجان من الجينات، كما وجد أن صفة الثمار البكرية العقد كانت سائدة كليًّا تقريبًا على صفة الثمار البذرية.

البطاطس

وجد أن لون الدرنات يتحكم فيه ثلاثة جينات، هى: D وهو جين أساسى، و R للون الأحمر، و P للون الأزرق، علمًا بأن D و R مكملان لبعضهما البعض، و P متفوق على R، كما تُنتج الصبغة الزرقاء بكل من P، و D فى غياب R.

ويتحكم جينات أخرى كثيرة فى التلوين بمختلف الأجزاء النباتية، كما يلى:

الجينات	الجزء النباتى الذى تتحكم فى تلوينه
R، S، D، P	جلد الدرنة
R، S، P	العيون
R، D، P	السلاميات الحديثة
R، P	السلاميات القديمة التكوين
B، C، R، D، P	البادرات والبراعم وآباط الأوراق
C، I	لُب (لحم) الدرنة

وفى وجود الجينين المتنحيين ii، و cc مع الجين السائد المثبط لتمثيل الصبغات Z فإن لُب الدرنات يكون أبيض.

أما لون الأزهار فإنه يتحدد كما يلى:

التركيب الوراثى	اللون
P- R- D-	أرجوانى
pp- R- -D-	أحمر
P-R-dd	منقط بالأبيض
كل التراكيب الأخرى	أبيض

وبينما لا تُنتج نباتات البطاطس ذات الدرنات الكروية عند تلقيحها ذاتيًا سوى نباتات ذات درنات كروية غالبًا، فإن النباتات ذات الدرنات الطويلة تُعطى عند تلقيحها ذاتيًا نباتات ذات درنات طويلة، وأخرى بدرنات بيضاوية، وثالثة بدرنات كروية، ويُعتقد أن جين واحد ذو سيادة غير تامة يتحكم فى شكل الدرنات الطويلة والكروية، مع وجود جينات محورة.

وعندما لقحت نباتات ذات عيون درنات عميقة مع أخرى ذات عيون درنات سطحية فإن نباتات الجيل الأول كانت وسطًا فى عمق عيون درناتها، كما وُجد أن صفة العيون الكبيرة العريضة كانت سائدة على صفة العيون الصغيرة الدائرية.

تاريخ واتجاهات تربية الخضر فى مصر خلال القرن العشرين

قام المؤلف — بجهد شخصى منه — بعمل حصر لبحوث تربية الخضر فى مصر؛ فقام من خلال الاتصالات الشخصية بجمع كل ما استطاع الاطلاع عليه أو الحصول عليه من دراسات فى هذا المجال. اشتملت الدراسة على ٥٦٠ بحثًا أجريت فى مصر فى مجال تربية الخضر، ونشرت خلال الفترة من ١٩٠٠ حتى ٢٠٠٤ (وإن كانت أولى الدراسات التى نُشرت فى مصر فى مجال تربية الخضر قد ظهرت فى سنة ١٩٥٠)،

وتضمنت ١٢٩ رسالة ماجستير ودكتوراه، و٤٣١ بحثًا علميًا منشورًا فى دوريات علمية محلية أو أجنبية. وللدقة والأمانة.. فإن هذا العدد من الدراسات — رغم كثرته — هو كل ما أمكننى الحصول عليه، ولا يشتمل على كل ما أُجرى من دراسات فى مجال تربية الخضر خلال القرن العشرين.

أجريت البحوث التى شملتها عينة الدراسة على ٣١ محصولاً من الخضر، هى: الطماطم — البطاطس — الفلفل — الباذنجان — البسلة— الفاصوليا— اللوبيا— الفول الرومى — فاصوليا منج — فاصوليا تبارى— البطيخ — الشمام — الكنتالوب — الخيار — الكوسة — القرع العسلى — القثاء — الكرنب — القنبيط — الفجل — البصل — الثوم — الكرات — البامية — البطاطا — الفراولة — الخرشوف — القلقاس — الجزر — الفينوكيا — الرجلة.

كانت أكثر محاصيل الخضر حظًا من الدراسات التى شملتها العينة هى الطماطم (١٧٩ بحث)، فالبطيخ (٤٨ بحث)، فالفلفل (٣٨ بحث)، فالكوسة (٢٩ بحث)، فالخيار (٢٥ بحث)، وكانت أقلها حظًا: القلقاس، والقثاء، والرجلة (بحث واحد فى مجال التربية لكل منها) (جدول ٢-١).

وقد حظيت دراسات وراثة الصفات والتحليل الكمى لها، وقوة الهجين والقدرة على التآلف، وبحوث التربية بمختلف الطرق التقليدية .. حظيت بالقدر الأكبر من اهتمام الدارسين فى عينة الدراسة (١٠١ رسالة علمية و ٣٨٦ بحث)، وتلتها دراسات مزارع الأنسجة والإكثار الدقيق (١٢ رسالة و١٨ بحث) فدراسات استحداث الطفرات (٨ رسائل و١٠ بحوث)، فدراسات التضاعف (رسالتان و١٣ بحث)، بينما بلغ عدد الدراسات التى شملتها العينة: ٤ فى مجال الدراسات السيتولوجية، و ٤ فى مجال الهندسة الوراثية، ودراسة واحدة فى مجال حفظ الجيرمبلازم (جدول ٢-٢).

وكانت أكثر طرق التربية اتباعًا فى عينة الدراسة هى: إنتاج الهجن، وخاصة فى الطماطم والبطيخ، والخيار والبصل والبامية؛ وانتخاب السلالة النقية وانتخاب النسب،

وخاصة فى الطماطم، والفاصوليا، واللوبيا، والبطيخ، والشمام؛ والانتخاب الإجمالى وخاصة فى الكوسة، والكرنب، والبصل؛ والانتخاب المتكرر، وخاصة فى الكرنب؛ وانتخاب السلالة الخضرية فى الثوم، والبطاطا، والفراولة؛ وكانت أكثر المحاصيل التى دُرست فيها زراعة الأنسجة: البطاطس، والكوسة، والفراولة، والخرشوف؛ بينما لم تتضمن دراسات التحول الوراثى فى عينة الدراسة سوى محاصيل الطماطم، والفاصوليا، والكنتالوب، والخيار، والكوسة (جدول ٢-٣).

جدول (٢-١): توزيع بحوث تربية الخضر التى شملتها عينة الدراسة على مختلف المحاصيل.

المحصول	الرسائل العلمية	البحوث	المجموع	أول بحث في مجال التربية فى عينة الدراسة
العائلة				
الطماطم	٣١	١٤٨	١٧٩	محمد إسماعيل جعفر/ماجستير/ عين شمس ١٩٦٢ (قوة الهجين)
البطاطس	٥	٥	١٠	محمود سليمان عطية ١٩٦١ (المقاومة للنيماتودا)
الفلفل	٦	٣٢	٣٨	سعيد غبريال ١٩٧٠ (المقاومة لـ cmv)
الباذنجان	١	٢	٣	مختار منصور كمال/ماجستير/الإسكندرية ١٩٧٥ (قوة الهجين)
العائلة البقولية				
البسلة	٣	١٥	١٨	هانى بدر/ماجستير/الإسكندرية ١٩٦٨ (استحداث الطفرات)
الفاصوليا	٦	١٥	٢١	أحمد المربع /ماجستير/القاهرة ١٩٥١ (المقاومة للصدأ)
اللوبيا	٨	١٤	٢٢	فايق ساويرس/ماجستير/الإسكندرية ١٩٧٢ (المقاومة لـ cmv)
الفول الرومى	٢	٨	١٠	هاشم حسين وعبد الله ١٩٧٤ (استحداث الطفرات)
فاصوليا منج	١	-	١	حازم عبد الله/ماجستير/أسيوط ١٩٩٦ (التربية الداخلية)
فاصوليا تبارى	-	٦	٦	محمد فؤاد ١٩٩٦ (تحمل الجفاف)
العائلة القرعية				
البطيخ	٩	٣٩	٤٨	أحمد رضوان/ماجستير/القاهرة ١٩٥٠(تدهور الشليان بلاك)
الشمام	٥	١٠	١٥	محمد عبد العزيز عبد الفتاح/دكتوراه/القاهرة ١٩٥٨ (وراثة الصفات)
الكنتالوب	٣	٦	٩	أحمد حاتم/ دكتوراه/ شبين الكوم ١٩٩٢ (وراثة الصفات)
الخيار	٩	١٦	٢٥	عز الدين فراج ١٩٦٠ (صنف جديد يثمر شتاء)

يتبع

تابع جدول (٢-١).

المحصول	الرسائل العلمية	البحوث	المجموع	أول بحث فى مجال التربية فى عينة الدراسة
الكوسة	٦	٢٣	٢٩	حسن عزام/ماجستير/القاهرة ١٩٥٠ (قوة الهجين)
القثاء	–	١	١	أحمد المربع ١٩٦٨ (التربية الداخلية)
القرع العسلى	–	٢	٢	عبد الرحمن وآخرون ٢٠٠١ (داياليل ووراثة صفات)
العائلة الكرنبية				
الكرنب	٣	١٥	١٨	محمود سليمان عطية وسيد نصار ١٩٦١ (إنتاج الكرنب البلدى المحسن)
القنبيط	–	٣	٣	جاد وآخرون ١٩٨٥ (وراثة الصفات)
الفجل	–	٣	٣	عبد العظيم عبد الحافظ وآخرون ١٩٨٦ (التضاعف)
العائلة الثومية				
البصل	١٠	٩	١٩	فتحى عبد الجابر/ماجستير/القاهرة ١٩٦٣ (العقم الذكرى)
الثوم	٣	٣	٦	سيد نصار وآخرون ١٩٧٠ (دراسة الثوم الصينى)
الكرات	١	–	١	سعد كامل/ ماجستير/ عين شمس ١٩٥٣ (السيتولوجى والهجن النوعية)
العائلة الخبازية				
البامية	٦	١١	١٧	محمد عبد الرحيم أبو بكر/ ماجستير/ القاهرة ١٩٦٦ (وراثة الصفات)
العائلة العليقية				
البطاطا	٤	١٩	٢٣	كمال رمزى استينو وحسن حافظ ١٩٥٢ (الإزهار)، ومحمود سليمان عطية وآخرون ١٩٥٢ (إنتاج وتقييم سلالات من برنامج للتربية).
العائلة الوردية				
الفراولة	٤	١١	١٥	عز الدين فراج ١٩٦٠ (صنف جديد يثمر شتاء)
العائلة الخيمية				
الجزر	–	٢	١	عبدالعزيز ٢٠٠٢ (تقييم سلالات جديدة تحت ظروف مصر
الفينوكيا	–	٢	٢	توفيق وآخرون ١٩٩٦ (الانتخاب للمحصول والتبكير)
العائلة المركبة				
الخرشوف	٣	٩	١٢	بخيت/ ماجستير/ القاهرة ١٩٩٢ (الإكثار الدقيق)
العائلة القلقاسية				
القلقاس	–	١	١	عفاف عبد القادر ٢٠٠٢ (انتخاب سلالات محلية)
العائلة الرجلية				
الرجلة	–	١	١	كمال رمزى استينو وعبد الله الشهيدى ١٩٥٢ (السيتولوجى)
المجموع	١٢٩	٤٣١	٥٦٠	

جدول (٢-٢): مجالات بحوث تربية الخضر التى شملتها عينة الدراسة، والتى أجريت خلال الفترة من ١٩٠٠ إلى ٢٠٠٤.

المجال	أعداد	
	الرسائل علمية	البحوث
بحوث التقييم لمختلف الصفات التى تضمنتها برامج التربية • الدراسات الوراثة والتحليل الكمى لوراثة الصفات • دراسات التربية الداخلية وقوة الهجين والقدرة على التآلف • بحوث الداياليل وإنتاج الهجن والجيل الثانى الهجين • دراسات الصفات الوراثية على المستوى الجزيئى والبيوكيميائى • بحوث التربية بمختلف طرق الانتخاب وإنتاج الأصناف المفتوحة التلقيح والأصناف الثابتة وراثيًا	١٠١	٣٨٦
الدراسات السيتولوجية	٢	٢
التضاعف	٢	١٣
استحداث الطفرات	٨	١٠
مزارع الأنسجة (لأجل الإكثار الدقيق والانتخاب...إلخ)	١٢	١٨
الهندسة الوراثية	٤	–
حفظ الجيرمبلازم	–	١٠
إجمالى حجم عينة الدراسة	١٢٩ +	٤٣١ = ٥٦٠

جدول (٢-٣): التكرار النسبى لطرق التربية التى اتبعت مع مختلف محاصيل الخضر

المحصول	طرق التربية الرئيسية							
	إنتاج الهجن	انتخاب السلالة النقية وانتخاب النسب	الانتخاب الإجمالى	الانتخاب المتكرر	انتخاب السلالات الخضرية	التربية بالطفرات	زراعة الأنسجة	التحول الوراثى
الطماطم	+++++	++				+	+	+
البطاطس							++	
الفلفل	++			+			+	
الباذنجان	+	+						
البسلة		+				++		
الفاصوليا		++					+	+
اللوبيا		++				+	+	
الفول الرومى	++					+		
البطيخ	++++	++				+		
الشمام	+	++						
الكنتالوب	++							+
الخيار	+++	+				+		+
الكوسة	++		++++				++	+
الكرنب	+		++	++++				
البصل	++++		++			+		
الثوم					++		+	
البامية	+++		+			+		
البطاطا					+++++		+	
الفراولة					++		+++	
القنبيط	+							
القلقاس					+			
الخرشوف							++	
القرع العسلى	+							
الجزر			+					

أما الأهداف البحثية فقد كان تركيزها فى عينة الدراسة على الصفات النباتية المختلفة (صفات النمو الخضرى والثمرى والدرنى والجذرى، بما فى ذلك صفات الجودة)، بالإضافة إلى تحمل الظروف البيئية القاسية، وأهمها الحرارة المنخفضة والمرتفعة، والملوحة العالية والجفاف، والمقاومة للأمراض والآفات الهامة، وخاصة البياض الدقيقى، والذبول الفيوزارى، ونيماتودا تعقد الجذور، والفيروسات والهالوك (جدول ٢-٤).

وقد أفرزت البحوث التى شملتها عينة الدراسة مئات الهجن والسلالات والأصناف الثابتة وراثيًا والأصناف المفتوحة التلقيح الجديدة من شتى المحاصيل (كانت غالبيتها غير مسماه والقليل منها مسمى)، ولكن لم يستعمل منها فى الزراعة المحلية سوى القليل جدًا من تلك الأصناف وهى التى يمكن تقسيمها إلى فئتين، هما: أصناف استعملت لفترة قصيرة ثم توقف استعملها، وهى: طماطم أليكس٦١، وأليكس ٦٣ (البحوث الخاصة بهما غير منشورة أو لم يُعثر عليها)، وفاصوليا جيزة ٥، وجيزة ٣١٧ (البحوث الخاصة بهما غير منشورة أو لم يعثر عليها) وشمام قاهرة ٣ وقاهرة ٦، وجميع أصناف البصل والبطاطا التى كانت مزروعة ثم اندثرت. أما الفئة الثانية .. فتشمل الأصناف الجديدة التى مازالت مستعملة فى الزراعة، وتتضمن: طماطم ماستر بى (على نطاق ضيق جدًا والبحث الخاص بها غير منشور) وفاصوليا جيزة ٣، وجيزة ٤، وجيزة ٥ (البحوث الخاصة بالصنفين الأخيرين غير منشورة أو لم يعثر عليها) وشمام اسماعيلاوى محسن، وكرنب بلدى محسن وقاهرة هجين، وجميع الأصناف المستعملة فى الزراعة من كل من البطاطا والبصل، والثوم الصينى. كذلك اشتملت عينة الدراسة على صنف الجزر الأنثوسيانينى "أسيوط ٣٥" (جدول ٢-٥). وتجدر الإشارة الى أن دراسات الألفية الثالثة– التى لم تشملها عينة الدراسات– قد أفرزت عشرات الأصناف الجديدة.

ومن بين أهم التحديات التى تواجه دراسات تربية الخضر: ضعف الإمكانيات وميزانيات البحوث – التعارض بين حاجة الباحثين إلى النشر العلمى السريع لتلبية احتياجات الترقيات العلمية، وحاجة برامج التربية إلى وقت طويل لإنجازها – التعارض بين الثبات الوظيفى الذى تتطلبه برامج التربية الطويلة الأمد، وحاجة الباحثين الشخصية إلى تحسين أوضاعهم المعيشية فى أماكن أخرى – استحالة إجراء عملية التقييم الموسع لعدة

سنوات أو فى عدة مناطق بواسطة مربى الأصناف الجديدة – تعقيدات إجراءات تسجيل الأصناف الجديدة المنتجة محليًّا – صعوبة محافظة المربى على إكثار بذور المربى للأصناف الجديدة المسجلة – انعدام الثقة بين مربى الأصناف الجديدة وشركات إنتاج البذور – عدم تحمس شركات إنتاج البذور المحلية لإنتاج الأصناف الجديدة من الخضر المنتجة محليا – عدم توفر نظام ثابت وإمكانيات متقدمة لحفظ الجيرمبلازم الذى تفرزه برامج التربية.

هذا.. وبينما يمكن الرجوع إلى فهمى (١٩٧٢) بخصوص الدراسات التى أجريت حتى عام ١٩٧٠، فإنى أعتذر عن عدم بيان بحوث عينة الدراسة ضمن قائمة مصادر الكتاب، نظرًا لأن بيانها يزيد كثيرًا من عدد صفحات الكتاب.

جدول (٢-٤): الاتجاهات البحثية الرئيسية (بخلاف المحصول ومكوناته وصفات النمو الخضرى والزهرى والثمرى).

المحصول	الاتجاهات البحثية الرئيسية
الطماطم	إنتاج الهجن لمختلف الأغراض (الاستهلاك الطازج – التصنيع – زراعات الانفاق – الزراعة المحمية) – القدرة على العقد فى الحرارة المنخفضة والمرتفعة – تحمل الملوحة – المقاومة لكل من TMV، و TYLCV، ونيماتودا تعقد الجذور، والذبول الفيوزارى، والندوة المبكرة، والهالوك – القدرة على العقد البكرى.
البطاطس	المقاومة لكل من النيماتودا والعفن الجاف – الإكثار الدقيق.
الفلفل	تحمل الحرارة العالية، وظروف الجفاف، والملوحة العالية – المقاومة للـ TMV.
الفاصوليا	تحمل الجفاف والحرارة العالية – المقاومة لكل من الـ BCMV واللفحة الهالية.
اللوبيا	تحمل الملوحة – المقاومة لكل من دودة قرون اللوبيا، وخنفساء بذور اللوبيا، والـ CMV، وفيروسات أخرى، والذبول، ونيماتودا تعقد الجذور.
الفول الرومى	تحمل الملوحة – المقاومة للهالوك.
فاصوليا المنج	المقاومة للجفاف
البطيخ	إنتاج البطيخ اللابذرى – دراسات العقم الذكرى – المقاومة لكل من الذبول، و ZYMV وفيروسات أخرى، والبياض الدقيقى.
الشمام	المقاومة للبياض الدقيقى
الكنتالوب	المقاومة لفيرس ZYMV وفيرس آخر جديد لم يسمى

يتبع

تابع : جدول (٢–٤).

المحصول	الاتجاهات البحثية الرئيسية
الخيار	المقاومة لكل من البياض الزغبى، والبياض الدقيقى، و ZYMV
الكوسة	الانتخاب فى الاسكندرانى – إنتاج سلالات أنثوية – العقم الذكرى – محصول البذور
الكرنب	الانتخاب فى البلدى (إجمالى ومتكرر) – المقاومة للإزهار المبكر
البصل	العقم الذكرى – المقاومة للعفن الأبيض (دكتوراه محمد الجمال ١٩٧١)
الثوم	الانتخاب فى الصينى
البطاطا	تحفيز الإزهار
الفراولة	إعادة تركيب نوع الفراولة – التهجين بين البلدى والأجنبى – الانتخاب فى مزارع المتوك
الخرشوف	الإكثار الدقيق
الفجل	التضاعف
فاصوليا تبارى	المقاومة للجفاف

جدول (٢–٥): أصناف الخضر التى أُنتجت محليًا خلال الفترة من ١٩٠٠ إلى ٢٠٠٤، والتى شملتها عينة الدراسة (علمًا بأنه قد أُنتجت عشرات الأصناف الأخرى الجديدة – غالبيتها من الهجن – خلال العقد الماضي وانتشر بعضها فى الزراعة، ولكن عينة الدراسة التى كان آخرها ٢٠٠٤ لم تشملها).

المحصول	أصناف لم تستخدم فى الزراعة	أصناف استخدمت لفترة محدودة وتوقفت	أصناف تستخدم حاليًا فى الزراعة
الطماطم: الهجن:	كثيرة جدًا	أليكس ٦١` – أليكس ٦٣`	ماستر بى* (على نطاق محدود)
الثابتة وراثيًا:	جواهر – جيزة ٨٠ – جيزة ٨١ – أسيوط ٢٣، وأخرى	لا يوجد	لا يوجد
البطاطس	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد
الفلفل: الهجن	كثيرة	لا يوجد	لا يوجد
الثابتة وراثيًا	قليلة	لا يوجد	لا يوجد
الباذنجان: الهجن	قليلة	لا يوجد	لا يوجد
المفتوحة التلقيح	قليلة	لا يوجد	لا يوجد
البسلة: الثابتة وراثيًا	قليلة	لا يوجد	لا يوجد
الفاصوليا: الثابتة وراثيًا	متوفرة	جيزة ٥`` – جيزة ٣١٧	جيزة ٣ – جيزة ٤ – جيزة ٦
اللوبيا: الثابتة وراثيًا	متوفرة	؟	؟
الفول الرومى: الثابتة وراثيًا	قليلة	لا يوجد	لا يوجد

يتبع

تابع : جدول (٢-٥).

المحصول	أصناف لم تستخدم فى الزراعة	أصناف استخدمت لفترة محدودة وتوقفت	أصناف تستخدم حاليًا فى الزراعة
البطيخ: الهجن	كثيرة (ثلاثى)	لا يوجد	لا يوجد
المفتوحة التلقيح	قليلة	؟	جيزة ١
الشمام: الهجن	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد
المفتوحة التلقيح	قليلة	قاهرة ٣ — قاهرة ٦	الاسماعيلاوى المحسن ؟
الكنتالوب: الهجن	قليلة	لا يوجد	لا يوجد
الخيار: الهجن	كثيرة	لا يوجد	لا يوجد
الكوسة: الهجن	كثيرة	لا يوجد	لا يوجد
المفتوحة التلقيح	كثيرة	؟	الاسكندرانى محسن
الكرنب: الهجن	قليلة	لا يوجد	لا يوجد
المفتوحة التلقيح	متوفرة	؟	البلدى المحسن — قاهرة هجين
البصل: المفتوحة التلقيح	عديدة	جميع الأصناف التى استعملت محليا واندثرت	جميع الأصناف التى تستعمل محليًا حاليًا
الثوم	قليلة جدا	؟	الصينى
البامية: المفتوحة التلقيح	متوفرة	؟	؟
البطاطا	كثيرة	جميع الأصناف التى استعملت محليا واندثرت	مبروكة°° — أبيس°°
الفراولة	قليلة	لا يوجد	لا يوجد

° لم تُنشر فى بحوث، °° لم تنشر فى بحوث أو لم يُعثر على بحوث نشرت فيها فى دوريات محكمة، ؟- ربما تكون قد استعملت أو تستعمل على نطاق ضيق

الفصل الثالث

مبادئ وأساسيات

التلقيح السائد فى محاصيل الخضر

تقسم محاصيل الخضر حسب طرق التلقيح السائدة فيها كما هو مبين فى جدول (٣-١).

جدول (٣-١): تقسيم الخضر حسب طريقة التلقيح السائدة (Kumar & Peter ٢٠٠٠).

الخضر	التلقيح السائد	السبب فى سيادة طريقة التلقيح	عامل التلقيح الخلطى
الأمارنث	خلطى	النبات وحيد الجنس وحيد المسكن	الهواء
الأسبرجس	خلطى	النبات وحيد الجنس ثنائى المسكن	الحشرات
الجورد المر	خلطى	النبات وحيد الجنس وحيد المسكن	النحل
اليقطين	خلطى	النبات وحيد الجنس وحيد المسكن	النحل
الباذنجان	خلطى غالبًا	تباين وضع الميسم بالنسبة للمتوك (heterostyly)	الهواء والنحل
الفول الرومى	ذاتى	–	–
الكوسة	خلطى	النبات وحيد الجنس وحيد المسكن	النحل
الكرنب	خلطى	عدم التوافق الذاتى	النحل
الجزر	خلطى	انتشار حبوب اللقاح قبل استعداد المياسم للتلقيح (protandry)	الذباب
القنبيط	خلطى	عدم التوافق الذاتى	نحل العسل
الكرنب الصينى	خلطى	عدم التوافق الذاتى	النحل
اللوبيا	ذاتى	–	–
الفلفل الحار chilli	خلطى غالبًا	انتشار حبوب اللقاح قبل استعداد المياسم	الحشرات
الشيكوريا	خلطى	انتشار حبوب اللقاح قبل استعداد المياسم	الحشرات
الخيار	خلطى	انفصال الجنس	النحل
الشيف	خلطى	عدم التوافق الذاتى	الحشرات
الكسبرة	خلطى	تباين أعضاء الزهرة الجنسية مظهريًا (heteromorphy)	الهواء والنحل

يتبع

تابع : جدول (٣-١).

الخضر	التلقيح السائد	السبب فى سيادة طريقة التلقيح	عامل التلقيح الخلطى
الفاصوليا	ذاتى	–	–
البسلة	ذاتى	–	–
الخرشوف	خلطى		نحل العسل
الكيل	خلطى	عدم التوافق الذاتى	نحل العسل
الخس	ذاتى	–	–
فاصوليا الليما	خلطى غالبًا	–	الحشرات
المسترد	خلطى	عدم التوافق الذاتى	نحل العسل
الكنتالوب	خلطى غالبًا	النبات وحيد الجنس وحيد المسكن	نحل العسل
البصل	خلطى	انتثار حبوب اللقاح قبل استعداد المياسم	نحل العسل
القرع العسلى	خلطى	النبات وحيد الجنس وحيد المسكن	النحل
الفجل	خلطى	عدم التوافق الذاتى	نحل العسل
البروكولى	خلطى	عدم التوافق الذاتى	النحل
السبانخ	خلطى	انفصال الجنس	الحشرات
السلق السويسرى	خلطى	انتثار حبوب اللقاح قبل استعداد المياسم	الهواء
البطاطا	خلطى	عدم التوافق الذاتى	الحشرات
القثاء	خلطى	النبات وحيد الجنس وحيد المسكن	النحل
الطماطم	ذاتى	–	–
فاصوليا تبارى	ذاتى	–	–
اللفت	خلطى	عدم التوافق الذاتى	نحل العسل
البطيخ	خلطى	النبات وحيد الجنس وحيد المسكن	النحل
قرع الشتاء	خلطى	النبات وحيد الجنس وحيد المسكن	النحل

وتتباين نسبة التلقيح الخلطى فى محاصيل الخضر وفى المحصول الواحد، كما يلى:

المحصول	نسبة التلقيح الخلطى	الملقحات
الطماطم	غالبًا < ٠,٥٪ وتصل حتى ٢٥٪ عند زيادة النشاط الحشرى	الحشرات، خاصة النحل الطنَّان ونحل العسل
الباذنجان	غالبًا < ١٥٪ وتصل إلى ٣٠٪ عند زيادة النشاط الحشرى	الحشرات والهواء
البطاطس	صفر — ٢٠٪	الحشرات، خاصة النحل الطنَّان، والهواء
الفلفل	غالبًا < ٢٠٪، وتصل إلى ٦٠٪ عند زيادة النشاط الحشرى	الحشرات
الخس	صفر — ٦٪	الحشرات
اللوبيا	١٪ — ٤٪	النحل الطنَّان ونحل العسل البرى
الفول الرومى	١٠٪ — ٧٠٪	نحل العسل
الفاصوليا	غالبًا < ١٪،وتصل إلى ١٠٪ عند زيادة النشاط الحشرى	الحشرات
الكرفس	٥٠٪ — ٩٠٪	الهواء
البامية	غالبًا < ١٠٪ وتصل إلى ٣٠٪ عند زيادة النشاط الحشرى	الحشرات
البطاطا	٢٪ — ٦٠٪	الحشرات
السبانخ	٢٠٪ — ٩٧٪	الهواء
الجزر	٩٨٪ — ٩٩٪	الحشرات
الفجل	خلطى بدرجة عالية	نحل العسل والنحل الطنان
الكرنب الصينى	٨٥٪ — ١٠٠٪	نحل العسل
القنبيط	٤٠٪ — ٥٠٪	نحل العسل والنحل الطنَّان
الكرنب	٧٣٪	نحل العسل والنحل الطنَّان
البصل	٩٥٪ — ١٠٠٪	الحشرات
الكنتالوب	٣٪ — ٩٥٪، وغالبًا ١٠٪—٧٠٪	نحل العسل
الخيار	١٧٪ — ٧٠٪	نحل العسل

(عن Kalloo ١٩٨٨ بتصرف)

مواعيد تفتح الأزهار واستعدادها للتلقيح

يرتبط مواعيد تفتح الأزهار وانتثار حبوب لقاحها واستعداد مياسمها للتلقيح بطبيعة التلقيح السائدة فيها؛ الأمر الذى نفصله فى جدول (٣-٢)، كما يستفاد من تلك المعلومات فى إحكام إجراء التلقيحات لأغراض التربية.

جدول (٣-٢): مواعيد تفتح الأزهار، وانتثار حبوب اللقاح، وفترة احتفاظها بخصوبتها، ومدة واستعداد المياسم للتلقيح (عن Kalloo ١٩٨٨).

المحصول	موعد: تفتح الأزهار	موعد: انتثار حبوب اللقاح	مدة: خصوبة حبوب اللقاح	مدة: استعداد المياسم للتلقيح
الطماطم	الصباح الباكر	الصباح حتى قبل الظهر	يوم تفتح الزهرة	١٦ ساعة قبل تفتح الزهرة إلى يوم
البطاطس	الصباح الباكر	الصباح الباكر	يوم تفتح الزهرة إلى الصباح الباكر من اليوم التالى	يوم تفتح الزهرة إلى بعد ظهر اليوم التالى
الفلفل	الصباح الباكر	بعد ساعات قليلة من تفتح الزهرة	يوم تفتح الزهرة	يوم تفتح الزهرة
الباذنجان	الصباح الباكر حتى وقت الظهيرة	بعد تفتح الزهرة مباشرة حتى وقت الظهيرة	يوم تفتح الزهرة ولمدة ١-٢ يوم بعد يوم التفتح	اليوم السابق لتفتح الزهرة ولمدة يومين بعد التفتح
البامية	ساعات الصباح الأولى	ساعات الصباح الأولى	من الصباح الباكر حتى وقت الظهيرة	اليوم السابق لتفتح الزهرة وتستمر خلال يوم التفتح
البسلة	الصباح الباكر	الصباح الباكر	يوم تفتح الزهرة ولمدة يوم آخر بعد يوم التفتح	٤٨ ساعة قبل تفتح الزهرة وتستمر ٢٤ ساعة أخرى بعد التفتح
الفاصوليا	الصباح الباكر	الصباح الباكر	يوم تفتح الزهرة	يوم تفتح الزهرة خاصة خلال فترة الصباح الباكر
اللوبيا	ساعات الصباح الأولى	قبل تفتح الزهرة بقليل	يوم تفتح الزهرة	اليوم السابق لتفتح الزهرة ويوم التفتح
الخس	الصباح الباكر	الصباح الباكر	يوم تفتح الزهرة	صباح يوم تفتح الزهرة حتى ما قبل الظهيرة
الكرفس	الصباح الباكر	من ما قبل تفتح الزهرة بقليل إلى ما بعد تفتحها	يوم تفتح الزهرة	من اليوم الخامس إلى اليوم الثامن بعد يوم التفتح
البطاطا	قبل الشروق بقليل أو فى الصباح الباكر	من قبل التفتح بقليل إلى ما بعد التفتح بقليل	يوم تفتح الزهرة	يوم تفتح الزهرة
البصل	الصباح الباكر	من الصباح الباكر حتى قرب المساء	يوم تفتح الزهرة	يوم تفتح الزهرة ولمدة ٣ أيام بعد يوم التفتح
الجزر	ساعات الصباح	بعد التفتح بقليل	يوم تفتح الزهرة	بعد انتثار حبوب اللقاح يوم تفتح الزهرة
الفجل	ساعات الصباح	ساعات الصباح	يوم تفتح الزهرة	يوم تفتح الزهرة ولمدة ٤ أيام بعد يوم التفتح
الكرنب	ساعات الصباح	ساعات الصباح	يوم تفتح الزهرة	قبل تفتح الزهرة بيومين أو ثلاثة إلى يوم التفتح

يتبع

تابع جدول (٣-٢).

المحصول	موعد		مدة	
	تفتح الأزهار	انتثار حبوب اللقاح	خصوبة حبوب اللقاح	استعداد المياسم للتلقيح
بنجر المائدة	من الصباح الباكر حتى قرب المساء	بعد تفتح الزهرة بقليل وحتى قرب المساء	يوم تفتح الزهرة	من قبل تفتح الزهرة ببضع ساعات إلى بعد تفتحها ببضع ساعات أخرى
الكنتالوب	الصباح الباكر	الصباح الباكر	الصباح الباكر حتى الظهيرة	ساعتان قبل تفتح الزهرة حتى ٢-٣ ساعات بعدها
البطيخ	الصباح الباكر	الصباح الباكر	الصباح الباكر حتى الظهيرة	ساعتان قبل تفتح الزهرة حتى ٣ ساعات بعدها
اليقطين	بعد الظهر حتى المساء	بعد الظهر حتى المساء	يوم تفتح الزهرة حتى صباح اليوم التالى	٣٦ ساعة قبل تفتح الزهرة إلى ٦٠ ساعة بعد التفتح
الخيار	الصباح الباكر	الصباح الباكر	الصباح حتى الظهيرة	١٢ ساعة قبل تفتح الزهرة إلى ٦-٧ ساعات بعد التفتح
الكوسة	الصباح الباكر جدًا	الصباح الباكر	١٦ ساعة بعد تفتح الزهرة	ساعتان قبل النضج إلى ١٠ ساعات بعد التفتح

أنواع العقم الذكرى فى محاصيل الخضر

تُعرف أربعة أنواع من العقم الذكرى في محاصيل الخضر، كما يلى:

١- عقم ذكرى وظيفى functional male sterility

تُنتج النباتات ذات العقم الذكرى الوظيفى حبوب لقاح خصبة، ولكنها تظل حبيسة المتوك أو لا تنتثر ولا تصل إلى مياسم الأزهار. ويوجد هذا النوع من العقم فى الطماطم والباذنجان.

٢- عقم ذكرى وراثى genic male sterility

وهو العقم الذى يتحكم فيه جين واحد أو عدة جينات تورث عن طريق النواة، وتكون غالباً متنحية. ويوجد هذا النوع من العقم وهو الأكثر شيوعًا فى كل من الكرنب والقنبيط وكرنب بروكسل، والبروكولى، والباذنجان، والفلفل، والبطيخ، والكنتالوب، والكوسة، والخيار، والقرع، والطماطم، والخرشوف.

٣- عقم ذكرى وراثى سيتوبلازمى genic-cytoplasmic

وهو عقم يتحكم فيه عوامل وراثية وأخرى سيتوبلازمية، ويوجد فى كل من البصل، والبنجر، والجزر، والفجل، والذرة السكرية، والشيف.

٤- عقم الأسدية staminal sterility

وفيه إما أن تكون الأسدية غائبة (stamnless) كما فى الطماطم، وإما أن تُنتج النباتات أزهارًا مؤنثة فقط (gynoecism)، كما فى الخيار والكنتالوب (Kallo ١٩٨٨)

معاملات الكولشيسين لأجل مضاعفة أعداد الكروموسومات فى محاصيل الخضر

يُستفاد من معاملة الكولشيسين فى مضاعفة أعداد الكروموسومات فى برامج التربية، وهى التى نبيين تفاصيلها فى جدول (٣-٣).

جدول (٣-٣): معاملات الكوليشيسين فى بعض محاصيل الخضر لأجل مضاعفة أعداد الكروموسومات بها (Kalloo ١٩٨٨).

المحصول	التركيز	فترة المعاملة	الجزء النباتى المعامل
البطاطس	٠,٢٪ محلول مائى	٦ ساعات	البذور (مع سبق نقعها فى الماء لمدة ٢٤ ساعة)
الطماطم	٠,٢٪ محلول مائى	٦ ساعات	البذور (مع سبق نقعها فى الماء لمدة ٢٤ ساعة)
البسلة	٠,٢٥٪ محلول مائى	٤ ساعات	البادرات
الخيار	٠,٢٪ محلول مائى	٢٤ ساعة	البذور
الكنتالوب	٠,٤٪ مستحلب	مرتان بينهما ٤ أيام	القمة الخضرية النامية فى طور نمو الفلقات
البطيخ	٠,٢٪ ثم ٠,٣٪ مائى	٢٠ ساعة ثم ٣-٤ أيام	البذور
	٠,٢٪ كحولى	٤-٥ أيام	القمة الخضرية النامية فى طور الفلقات
	٠,٠٣٪ -٠,٤٪ مائى	-	البادرات
الخس	٠,٢٪-١٪ مائى	٢٤-٤٨ ساعة	البذور (مع سبق نقعها فى الماء لمدة ٢٤ ساعة)
الفجل	٠,٠٥٪مائى	٢٤-٦٠ ساعة	البذور
اللفت	٠,١٪-٠,٢٪ مائى	٢٤-٤٨ ساعة	البذور (مع سبق نقعها فى الماء لمدة ٢٤ ساعة)
الجزر	٠,١٪ مائى	٢٤ ساعة	البذور
بنجر المائدة	٠,١٪ مائى	٢-٣ ساعات	البذور النابتة
السبانخ	٠,٢٪ مائى + ٠,٣٪ فى الآجار بنسبة ٢ : ١	٣-٤ مرات بين المرة والأخرى يومان	القمة النامية الخضرية فى مرحلة نموات الفلقات

التطعيم كوسيلة لإنتاج هجن نوعية متضاعفة

أظهرت دراسة حديثة أن الجينوم النباتي الكامل يمكن أن ينتقل بين الخلايا النباتية عبر منطقة التحام الأصل بالطعم؛ ينتج عن ذلك نوع جديد متضاعف هجينًا allopolyploid (Zhou & Liu ٢٠١٥).

اعتبارات إجراءات التقييم للصفات فى برامج التربية

إن أهم ما يجب أخذه فى الاعتبار عند تقييم الجيرمبلازم أو الأجيال الانعزالية ونسل النباتات المنتجة أن تكون طريقة التقييم سهلة وسريعة وقليلة التكلفة ،وأن تسمح بتقييم أعداد كبيرة من النباتات فى حيز محدود وبأسرع ما يمكن؛ الأمر الذى يتحقق عند إجراء التقييم فى مرحلة نمو البادرة.

وقد توصل الباحثون إلى وسائل متعددة تمكنهم من تحقيق هذا الهدف. فمثلاً .. عند إجراء التقييم لمقاومة الفيروسات التى تنتقل ميكانيكيًا..أمكن إجراء ذلك باستخدام نافخ هواء blower عادى مزود بوعاء بلاستيكى صغير يتصل بمسار الهواء المدفوع بأنبوبة بلاستيكية. يوضع الملقِّح (العصير النباتى المخفف المحتوى على الفيرس مع الكاربورندم) فى الوعاء، وبتشغيل النافخ يُسحب الملقِّح مندفعًا بقوة نحو أوراق البادرات التى يرغب فى عدواها بالفيرس (Munger وآخرون ١٩٩٥).

قواعد إعطاء الرموز للجينات

يخضع إعطاء الرموز للجينات التى يتم التعرف عليها للقواعد التالية:

١- يجب أن يصف اسم الجين صفة مميزة للطراز الطفرى بأقل عدد من الصفات أو الأسماء، أو هما معًا؛ بالإنجليزية أو اللاتينية.

٢- يُرمز للجينات بحروف رومانية مائلة، يكون أول حرف من الرمز مماثلاً للحرف الأول من الاسم، ويضاف أقل عدد من الحروف الأخرى التى تميز الرمز عن الرموز الجينية الأخرى.

٣- يكون الحرف الأول من الرمز والاسم كبيرًا (capital) إذا كان الجين الطفرى سائدًا، بينما تكون جميع حروف الرمز والاسم صغيرة (lower case) إذا كان الجين الطفرى متنحيًّا للطراز الطبيعى. ويُمثَّل الآليل الطبيعى للجين الطفرى بالعلامة +، أو إذا ما أُريد زيادة الوضوح يعطى رمز الجين الطفرى متبوعًا بالعلامة + فوقية. ويُعد الآليل + هو الطراز البدائى (البرى) لكل جين بأى نوع نباتى، فيما عدا إذا ما كان طول الاستخدام قد أدى إلى ترسيخ القبول برمز (أو اسم) لآليل يمثل الطراز الطبيعى وليس الطفرى.

٤- لا يُعطى رمزًا لجين إلاّ إذا توفرت نتائج انعزالات مدعمة إحصائيًّا للصفة التى يتحكم فيها ذلك الجين.

٥- بالنسبة للطفرات المختلفة التى تتشابه فى شكلها المورفولوجى — وهى التى تعرف باسم mimics – فإنها قد تُعطى أسماءً ورموزًا خاصة بها، أو أنها قد تعطى نفس الرمز متبوعًا بشرطة ثم رقم (Arabic numeral) أو حرف رومانى (إنجليزى) يكتب على نفس مستوى الرمز. وقد يستخدم الرقم ١ فوقيًا للجين الأصلى أو قد يُفهم استخدامه لكنه لا يستعمل وذلك عندما يكون الجين الأصلى ضمن سلسلة من الطفرات المختلفة المتشابهة. ويوصى بإجراء اختبارات آليلية مع أى جين متشابه mimic قبل وضع رمز جديد له .

٦- تُعطى الآليلات المتعددة نفس الرمز متبوعة بحرف رومانى فوقى أو رقم فوقى. وإذا كان التشابه فى الشكل المظهرى غير كافٍ بتعين إجراء اختبار آليلية .

٧- أما الآليلات التى تُحمل فى نفس الموقع دون أن يمكن تمييزها لتحكمها فى نفس الشكل المظهرى، فانه يفضل إعطاؤها نفس الرمز. وإذا ما أعطيت رموزًا مختلفة لآليلات يبدو أنها تكرار لنفس الطفرة، فإنه يفضل إعطاؤها نفس الرمز مع أرقام أو حروف فوقية مميزة لكل منها بين قوسين.

٨- قد تُعطى الجينات المحورَّة رمزًا لاسم مناسب، مثل intensifier، أو suppressor، أو inhibitor متبوعًا بشرطة ورمز الآليل المتأثر. أو كبديل .. فإنها قد تُعطى اسمًا مميزًا لا يُرافق رمز الجين المحوَّر.

٩- إذا ما أُعطى نفس الرمز لجينات مختلفة، أو إذا ما أُعطى أكثر من رمز لنفس الجين، فإن سبق النشر يكون هو العامل المحدد لاختيار الرمز المفضل. وفى قوائم الجينات توضع الرموز غير الصحيحة للجينات بين قوسين (Robinson وآخرون ١٩٧٦).

١٠- لا يستخدم نفس الرمز الجينى لجينات غير آليلية توجد فى أنواع مختلفة من نفس الجنس (مثل أنواع الجنس *Cucurbita*). هذا.. إلا أن الأنواع المتوافقة فى التلقيح فيما بينها تُعطى نفس الرمز للموقع الجينى الواحد (CGC Gene List Committee ١٩٨٢).

الفصل الرابع

إنتاج أصناف الخضر الهجين

العوامل المؤثرة فى مدى صلاحية إنتاج الأصناف الهجين كطريقة للتربية

يتوقف مدى مناسبة إنتاج أصناف هجين من محصول ما من عدمه على أمور معينة، كما يلى:

١- مدى سهولة إجراء عملية التهجين.

٢- عدد البذور التى تُنتج من التهجين الواحد.

٣- عدد البذور التى تلزم لزراعة وحدة المساحة من المحصول.

٤- مدى ظهور قوة الهجين فى المحصول.

٥- مدى الاستفادة من الهجين فى تجميع صفات سائدة - مرغوب فيها - من الأبوين.

٦- ما إذا كانت الأصناف الهجين حتمية لتوفير صفات معينة.

٧- الفائدة التى تتحقق لشركات إنتاج البذور من التحكم فى إنتاج بذور الهجن.

تحديات وإنجازات إنتاج الهجن فى مختلف محاصيل الخضر

أولا: محاصيل الخضر الذاتية التلقيح

المحاصيل التى تعطى عدداً قليلاً من البذور من كل تلقيح

إن محاصيل الخضر الذاتية التلقيح التى تُنتج عددًا قليلاً من البذور من كل تلقيح تجعل إنتاج الهجن غير اقتصادى، ومن أهمها البقوليات (مثل الفاصوليا والبسلة)، والخس.

الفاصوليا

الفاصوليا نبات يحمل أزهارًا كاملة، وهو ذاتى التلقيح، ويعطى عددًا محدودًا من البذور من كل تلقيح. ويلزم ٧٠ كجم من البذور لزراعة الهكتار الواحد (٢٩,٥ كجم للفدان) باعتبار وجود ٢٩٠٠ بذرة بكل كيلوجرام. وإذا ما استخدمت بذرة هجين فى الزراعة، فإن الأمر يتطلب إجراء ٦٨٠٠٠ تلقيح لزراعة هكتار واحد. علماً بأن الأزهار يتعين خصيها قبل تفتحها، مع إجراء العمل يدويًا، الأمر الذى لا يكون اقتصاديًا. ويمكن تسهيل إجراء التلقيحات بنقل الجينات التى تتحكم فى صفة الميسم المتجه للخارج extrorse stigma من *Phaseolus coccineus* (وهو محصول خلطى التلقيح).. نقلها إلى الفاصوليا، لكن الهجن ذاتها ليست لها قيمة خاصة حيث لم تلاحظ فيها قوة هجين يُعتد بها.

البسلة

البسلة مثل الفاصوليا من حيث كون أزهارها كاملة ولا تظهر فيها ظاهرة التدهور مع التربية الداخلية ولا قوة الهجين فى معظم الصفات، ولا يعد إنتاج هجن البسلة أمرًا اقتصاديًا.

الخس

الخس ذات أزهار كاملة ولا يُناسبه إنتاج الهجن، فالهكتار الواحد يحتاج إلى ٢٥٠٠٠٠ بذرة لزراعته، بينما لا يُنتج من التلقيح البدوى الواحد سوى حوالى ٢٠ بذرة. وحبوب لقاح الخس لزجة ولا تحملها الرياح، كما لا تزور الحشرات أزهار الخس، ولا تُعد قوة الهجين هامة فى هذا المحصول باستثناء صفة قوة نمو البادرات.

المحاصيل التى تعطى عدداً كبيراً من البذور من كل تلقيح

ينطبق هذا الوضع على محاصيل الباذنجانيات الثمرية، وهى: الباذنجان والفلفل والطماطم.

الباذنجان

تظهر قوة الهجين فى الباذنجان بدرجة عالية حيث تراوحت – فى دراسات مختلفة – بين ٣٣٪، و٩٧٪. زهرة الباذنجان كاملة وذاتية التلقيح بدرجة عالية ويسهل إجراء التلقيح فيها، كما يُنتج التلقيح الواحد أعدادًا كبيرة من البذور؛ لذا .. انتشرت بكثرة أصناف الباذنجان الهجين.

الفلفل

الفلفل يحمل أزهارًا كاملة، وهو محصول ذاتى التلقيح، لكن مع حدوث تلقيح خلطى بنسبة حوالى ٢٥٪. وتتراوح قوة الهجين فى صفة المحصول بين ٢٨٪، و٤٧٪. ورغم احتمال انخفاض قوة الهجين الخاصة بالمحصول فى بعض الظروف، فإن تفوق الهجن فى الصفات البستانية الهامة يجعلها أكثر صلاحية للتصدير. ورغم توفر ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى فى الفلفل فإنها ليست عالية الكفاءة فى إنتاج الهجن؛ ولذا .. فإن الهجن التجارية تُنتج بطريق الخصى والتلقيح اليدوى. وعلى الرغم من التوسع الكبير فى إنتاج هجن الأصناف الحلوة فإن هجن الأصناف الحريفة مازالت محدودة الانتشار.

الطماطم

أزهار الطماطم كاملة، وتظهر بالمحصول قوة الهجين بنسبة تصل إلى ٣٠٠٪ فى بعض الصفات لكنها تتباين كثيرًا من صفة لأخرى. والى جانب ميزة قوة الهجين، فإن الهجن تسمح بتجميع الصفات السائدة من الأبوين، مثل صفات المقاومة لكل من الذبول الفيوزارى بمختلف سلالاته وذبول فيرتسيليم ونيماتودا تعقد الجذور وفيرس موزايك الطماطم ولفحة ألترناريا (مثلما يوجد فى الأصناف التى تأخذ ضمن أسمائها الرموز: VFNTA). كذلك فإن سلوك بعض الجينات، مثل مانع النضج ripening inhibitor (وهو: rin) وعدم النضج non ripening (وهو: nor) يكون مثاليًا عند وجودها فى

الحالة الخليطة؛ حيث تُنتج النباتات الأصيلة ثمارًا رديئة الطعم ولا تكتسب لونًا أحمر، بينما تكون ثمار النباتات الخليطة أفضل طعمًا وتصبح حمراء عند النضج، فضلاً عن قدرتها التخزينية الجيدة.

تتراوح نسبة التلقيح الخلطى بين ٠,٥٪ و ٤٪ فى المناطق الباردة، وتكون النسبة أعلى من ذلك فى المناطق الاستوائية. ويحدث التلقيح الخلطى أساسًا بواسطة الحشرات، ولكن الهواء يلعب دورًا محدودًا. وتُنتج معظم هجن الطماطم يدويًّا فى كل من عمليتى الخصى والتلقيح. هذا إلاّ أن من الممكن إنتاج بذور الهجن بتكلفة أقل بالاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى أو الميسم البارز من المخروط السدائى، إلا أن نقل صفة العقم الذكرى لأمهات الهجن يتطلب وقتًا. وعلى الرغم من ارتفاع أثمان البذرة الهجين مقارنة بالبذرة العادية، فإن تلك التكلفة لا تشكل سوى حوالى ٢٪- ٣٪ من تكلفة إنتاج محصول الطماطم وتسويقه. وحاليا تستخدم الأصناف الهجين فى كل من طماطم التصنيع والاستهلاك الطازج، إلا أنها أكثر انتشارًا فى الأولى.

ثانيا: محاصيل الخضر الخلطية التلقيح

المحاصيل ذات نسبة التلقيح الخلطى المنخفضة

تشتمل هذه المجموعة على محاصيل القرعيات، وتتضمن ما يلى:

الخيار

الخيار محصول خلطى التلقيح وحيد الجنس وحيد المسكن؛ حيث يحمل أزهارًا مذكرة فى البداية، ثم خليط من الأزهار المذكرة والمؤنثة بعد ذلك. وتتحكم عدة جينات فى التعبير الجنسى؛ لتعطى نباتات أنثوية gynoecious (تحمل أزهارًا مؤنثة فقط)، ونباتات andromonoecious (تحمل أزهارًا مذكرة فى البداية ثم أزهارًا كاملة)، ونباتات خنثى hermaphroditic (تحمل أزهارًا كاملة). ولا يتعرض الخيار للتدهور مع التربية الداخلية، وقد تصل فيه نسبة التلقيح الخلطى إلى ٥٣٪، وتظهر به قوة الهجين.

وتُنتج هجن الخيار تجاريًا باستعمال سلالة مرباة داخليًا أنثوية كأم مع تلقيحها بسلالة مرباة داخليًا وحيدة الجنس وحيدة المسكن عن طريق الحشرات. ويمكن إكثار السلالات المرباة داخليًا الأنثوية بتلقيحها ذاتيًا بعد معاملة النباتات بنترات الفضة أو بأى مادة أخرى مثبطة للإثيلين. ومن مزايا إنتاج الهجن بتلقيح السلالات الأنثوية بأخرى وحيدة الجنس وحيدة المسكن أن الهجين الناتج يكون أنثويًا كذلك، حيث يُنتج أزهارًا مؤنثة عند جميع العقد. وعند زراعة مثل هذه الهجن يتعين خلطها بملقح إن لم تكن الهجن بكرية العقد. تتميز الهجن الأنثوية بإنتاجها المبكر والغزير مقارنة بالأصناف وحيدة الجنس وحيدة المسكن.

الكنتالوب

لا يحدث فى الكنتالوب تدهورًا مع التربية الداخلية، بينما تظهر به قوة الهجين. وتتراوح نسبة التلقيح الخلطى فى السلالات الـ andromonoecious ما بين ٢٠٪، و٣٥٪.

تُنتج هجن الكنتالوب يدويًا بخصى الأزهار الكاملة بنباتات سلالات الأمهات، ثم تُلقَّح باستعمال أزهار مذكرة من نباتات سلالات الآباء. ولقد أُنتجت هجنًا أنثوية من الكنتالوب ،إلاّ أن ثمارها كانت بيضاوية، وليست كروية كما فى نظيراتها من الهجن الـ andromonoecious. هذا..فضلاً عن أن صفة الأنثوية فى الكنتالوب يتحكم فيها عدة جينات ويصعب التعامل معها. وقد يفيد الاعتماد على العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى خفض تكلفة إنتاج الهجن.

قرع الكوسة

تظهر قوة الهجين بدرجة عالية فى الكوسة، وتُنتج الهجن بتلقيح سلالتين وحيدتى الجنس والمسكن معًا، مع استخدام نحل العسل كملقح. ويتم تحويل إحدى سلالتى أبوى الهجين إلى أنثوية لمدة ٢–٣ أسابيع فى بداية مرحلة التزهير، بمعاملة النباتات بالإثيفون عند مرحلتى تكوين الورقة الحقيقية الثانية والرابعة.

قرع الشتاء

يكون من الصعب إنتاج بذور هجن قرع الشتاء من كل من *C. maxima*، و *C. moschata*. باستخدام سلالات وحيدة الجنس وحيدة المسكن؛ نظرًا لأنها لا تستجيب جيدًا لمعاملة الإثيفون. وتنتج الهجن فيها بالتلقيح اليدوى.

البطيخ

البطيخ نبات وحيد الجنس وحيد المسكن، ولا يتعرض للتدهور مع التربية الداخلية، بينما تظهر به قوة الهجين. وتنتشر زراعة هجن البطيخ كوسيلة لحفظ حقوق المربى، فضلاً عن أنها الوسيلة الوحيدة لإنتاج البطيخ الثلاثى عديم البذور، وهى التى يتم إنتاج بذورها بتلقيح سلالة رباعية التضاعف تستخدم كأم بحبوب لقاح سلالة ثنائية التضاعف تستخدم كأب. وتُنتج السلالات الرباعية التضاعف بمعاملة السلالات المرباة داخليًا المرغوب فيها بالكولشيسين. وتتعين زراعة صنف ثنائى التضاعف بالتبادل مع خطوط الهجين الثلاثى فى حقل الإنتاج التجارى ليوفر حبوب اللقاح التى تلزم لتلقيح أزهار الصنف الثلاثى.

المحاصيل التى ترتفع فيها نسبة التلقيح الخلطى

إن أهم محاصيل الخضر التى ترتفع فيها نسبة التلقيح الخلطى الصليبيات والجزر والبصل والأسبرجس والسبانخ.

الصليبيات

تحمل نباتات الصليبيات كالبروكولى والكرنب والقنبيط أزهارًا كاملة، وهى خلطية التلقيح بدرجة عالية؛ بسبب ظاهرة عدم التوافق الأسبورفيتى التى توجد فيها. وتتعرض نباتات الصليبيات لقدر جوهرى من التدهور مع التربية الداخلية، كما تظهر فيها قوة الهجين بقوة. ويشذ عن ذلك القنبيط الصيفى، الذى لا يحدث فيه تدهورًا مع التربية الداخلية، كما لا توجد به ظاهرة عدم التوافق الذاتى. وإلى جانب قوة الهجين التى تظهر بهجن الصليبيات فإنها تكون متجانسة بدرجة عالية. وتُنتج الهجن الفردية

بتلقيح سلالة مرباة داخليًا غير متوافقة ذاتيًّا بحبوب لقاح سلالة الأب بعد زراعتهما معًا فى معزل. ويمكن إكثار السلالات غير المتوافقة ذاتيًّا بتلقيحها ذاتيًّا وهى فى طور البرعم الزهرى؛ حيث تكون الأزهار متوافقة ذاتيًّا قبل تفتحها. ورغم أن تلك الطريقة لإنتاج الهجن تُعد اقتصادية، إلا أن بعض البذور التى تقدم للمزارعين على أنها بذور هجن قد تنتج من تلقيحات ذاتية لسلالات الآباء. ومثل هذه البذور تُمثل مشكلة بالنسبة لكل من مزارعى الهجن، والشركات المنتجة للبذرة الهجين؛ حيث قد يمكن التعرف على أبوى الهجين بسهولة. وقد يمكن التغلب على تلك المشكلة بالاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى فى إنتاج البذرة الهجين.

الجزر

الجزر نبات خلطى التلقيح بنسبة حوالى ١٠٠٪، ويتعرض للتدهور الشديد مع التربية الداخلية، بينما تظهر فيه درجات عالية من قوة الهجين. ومعظم هجن الجزر تكون ثنائية أو ثلاثية، وتُنتج بالاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى (إما بطفرة المتوك البنية brown anther، وإما بطفرة تحول الأسدية إلى بتلات petaloidy). يصعب إنتاج سلالات الجزر المرباة داخليًّا بسبب التدهور الذى يظهر عليها مع التربية الداخلية، ولكن يمكن الوصول بها إلى جيل التلقيح الذاتى الثالث حتى السادس بتبادل كل جيل من أجيال التلقيح الذاتى بجيل من التلقيح المفتوح. وتُنتج الهجن فى حقول معزولة يتبادل فيها زراعة ثمانى خطوط من الأمهات مع خطين من الآباء.

البصل

البصل نبات خلطى التلقيح يحمل أزهارًا كاملة، وهو يتعرض للتدهور بشدة مع التربية الداخلية؛ مما يجعل إنتاج السلالات المرباة داخليًّا أمرًا صعبًا. وتتميز هجن البصل بقدر كبير من قوة الهجين. ولقد أصبح إنتاج هجن البصل أمرًا اقتصاديًّا بعد اكتشاف ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى. وتُنتج بذور الهجن التجارية بزراعة ٢٤

خطًا من سلالة الأم بالتبادل مع خطين من سلالة الأب والاعتماد على النحل فى التلقيح.

الأسبرجس

الأسبرجس نبات وحيد الجنس ثنائى المسكن ويتحدد فيه الجنس بالجين m. تُنتج النباتات المذكرة (الـ androecious) محصولاً من المهاميز يزيد بنسبة ٣٨٪ عما تنتجه النباتات المؤنثة (gynoecious)؛ لعدم استهلاكها لناتج البناء الضوئى فى إنتاج البذور سنويًا. تحمل النباتات المذكرة التركيب الوراثى Mm، وهى تُنتج بتلقيح نباتات مذكرة فائقة super males (ذات تركيب وراثى MM) مع سلالة مؤنثة mm. وتُنتج النباتات المذكرة الفائقة بالتلقيح الذاتى لأزهار كاملة تظهر أحيانًا على النباتات المذكرة، ثم اختبار النسل الناتج منها بسلالة مؤنثة لتحديد الأنسال التى تكون كلها مذكرة.

يحدث التدهور جراء التلقيح الذاتى؛ حيث يقل إنتاج السلالات المرباة داخليًّا إلى ما يقرب من ٤٥٪ من إنتاج الأصناف المفتوحة التلقيح، هذا بينما قد تصل قوة الهجين إلى ١٥٠٪، وخاصة خلال السنوات الإنتاجية الأربع الأولى.

السبانخ

السبانخ نبات وحيد الجنس ثنائى المسكن، لكن توجد به كذلك طرزًا وحيدة الجنس وحيدة المسكن. وهو يتلقح بالهواء بنسبة عالية جدًّا. وعلى الرغم من وجود تقارير تفيد حمل السبانخ لكروموسوم الجنس، فإن التعبير الجنسى فى السبانخ يتحكم فيه ثلاثة آليلات لجين واحد؛ حيث يُعطى التركيب الوراثى XX نباتات مؤنثة، ويعطى كلاً من XY، و Y^mY نباتات مذكرة، ويعطى التركيب الوراثى XX^m نباتات وحيدة الجنس وحيدة المسكن تكون أنثوية بدرجة عالية، بينما يعطى التركيب الوراثى X^mX^m نباتات وحيدة الجنس وحيدة المسكن تكون مذكرة بدرجة عالية. يحدث بالسبانخ تدهورًا مع التربية الداخلية، ولكن يزيد فيها محصول الهجن بدرجة تصل إلى ١٦٪–٢٠٪.

وتُنتج هجن السبانخ بزراعة سلالة وحيدة الجنس وحيدة المسكن تحمل نسبة عالية من الأزهار المؤنثة — أو سلالة أنثوية — بالتبادل مع سلالة وحيدة الجنس وحيدة المسكن تحمل نسبة عالية من الأزهار المذكرة — أو سلالة مذكرة — وتُكثر السلالة الأنثوية بزراعتها فى معزل حيث تتلقح الأزهار المؤنثة — طبيعيًّا — بالأزهار المذكرة التى تظهر متأخرة (Wehner ١٩٩٩).

إنتاج النباتات الأحادية المضاعفة لاستعمالها كآباء للهجن

تؤدى مضاعفة أعداد كروموسومات النباتات الأحادية إلى استعادة الخصوبة وإلى إنتاج نباتات أحادية مضاعفة double haploids تكون أصيلة وراثيًّا. وتصلح هذه النباتات الأصيلة فى الأنواع ثنائية التضاعف وتلك المتضاعفة هجينيًّا alloploids لأن تكون أصنافًا جديدة نقية وراثيًّا، أو أن تكون آباءً لإنتاج هجن متجانسة. كذلك يكون أسهل كثيرًا الانتخاب لصفات المقاومة للأمراض والصفات البستانية وصفات الجودة فى النباتات الأحادية المضاعفة عما فى نباتات الجيل الثانى. وفى الأنواع المتضاعفة ذاتيًّا autopolyploids يكون من الأسهل إجراء التربية والانتخاب على المستوى الأحادى. هذا.. إلا أن مضاعفة الكروموسومات إلى مستوى التضاعف الأمثل (الخاص بالنوع) يلزم لإنتاج أعلى محصول.

وإذا كان الحصول على النبات الأحادى من الجاميطة المذكرة (androgensis)، فإنه يكون من الممكن إجراء معاملات إحداث التضاعف خلال مرحلة النواة الواحدة الأحادية single uninuclate stage، أو عند أول انقسام ميتوزى بعد الميوزى first post-meiotic mitotic division. أما الجاميطة المؤنثة فتتوفر لها الحماية بواسطة البييضة ovule؛ مما يجعل من الصعب إجراء معاملات مضاعفة الكروموسومات. ولذا.. فإن هذه النباتات الأحادية الـ gynogenetic تأتى غالبًا من مزارع البييضات، وتكون البادرات الأحادية هى أنسب المراحل لإجراء معاملة مضاعفة الكروموسومات (Kasha وآخرون ٢٠٠٦).

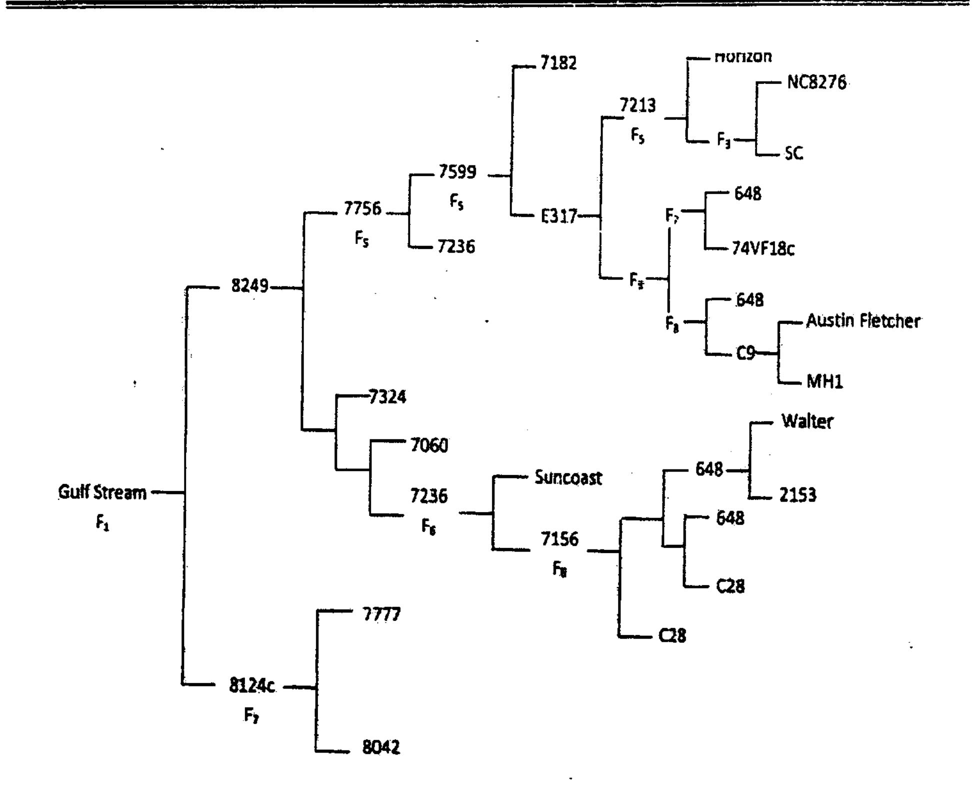
هذا.. ويعطى Leike & Bauch (١٩٩٢) تفاصيل عملية الإكثار الدقيق لسلالات الآباء المستخدمة فى إنتاج هجن الخضر.

إنتاج أول صنف هجين من البقوليات المأكولة

تمكن الباحثون بالـ ICRISAT بالتعاون مع نظرائهم من الباحثين الهنود من إنتاج أول هجين بقولى تُجارى يُستخدم كغذاء للإنسان، هو الهجين ICPH 2671 من بسلة الحمام *Cajanus cajan* وذلك بالاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى مع ظاهرة التلقيح الخلطى الطبيعى للمحصول. ولقد تفوق الهجين بنسبة ٤٧٪ فى محصول البذور على صنف الكنترول Maruti فى تجارب حقلية متعددة أُجريت على مدار أربع سنوات (Saxena وآخرون ٢٠١٣).

النشر العلمى لبرامج التربية التى اتبعت فى إنتاج الهجن

إن النشر العلمى المتعلق بأى هجين يتم إنتاجه يتطلب إعطاء تفاصيل كاملة عن أبوى الهجين وأنسابهما حتى وصلا إلى مرحلة استخدامهما كآباء. ويبين شكل (٤-١) مثالاً لذلك؛ حيث يظهر فيه أبوى هجين الطماطم Gulf Stream وأنساب هذين الأبوين حتى عشرة أجيال خلت (Scott وآخرون ٢٠٠٧). وبغير تلك التفاصيل لا يجوز — أصلاً — نشر مثل تلك البحوث. وطبيعى أن الهجن التى تُنتجها الجامعات والمؤسسات البحثية التى تُمول من الميزانية العامة يجب أن تخضع — عند نشرها — لتلك القاعدة، أما تلك التى تُنتجها شركات البذور والمؤسسات الخاصة فتسوق بذورها دون أن يُنشر عنها شىء.



شكل (٤-١): أنساب هجين الطماطم **Gulf Stream**.



الفصل الخامس

المحصول ومكوناته

مكونات المحصول ووراثتها

نظرًا لكون "المحصول الاقتصادى" الذى يزرع لأجله النبات صفة معقدة، يصعب إحراز تقدم سريع فيها بالتربية، لتأثرها الشديد بالعوامل البيئية من جهة (الأمر الذى يُخَفِّض درجة توريثها كثيرًا)، ولكونها محصلة لعديد من الصفات النباتية الأخرى؛ لذا.. كان اتجاه مربى النبات نحو دراسة مكونات المحصول - كل على حدة - مع محاولة الجمع بين المكونات العالية- معًا - فى تركيب وراثى واحد يكون ذا قدرة إنتاجية عالية. ولعل البقوليات من أبرز النباتات التى درست فيها مكونات المحصول، ولذا.. فإننا نستعين بها كأمثلة لتوضيح هذا الموضوع.

البسلة

يتحدد محصول البسلة (W) بعدد من المكونات؛ هى: عدد القرون بالنبات (X)، وعدد البذور بالقرن (Y)، ومتوسط وزن البذرة (Z)، وعدد البذور بالنبات.

وقد وجدت اختلافات بين سلالات البسلة فى عدد البويضات بالمبيض؛ حيث تراوحت من ٤-١٢ بويضة أو أكثر. وتعد هذه الصفة أقل تأثرًا بالعوامل البيئية من صفة عدد البذور بالقرن. وتبين من دراسات Marx & Mishanec (١٩٦٢) على هذه الصفة فى السلالة PI 236493 - التى تنتج حتى ١٢ بويضة بالمبيض، والتى لقحت مع خمس سلالات تنتج بويضات يقل عددها بمقدار ١٠٪-٢٠٪ عما فى هذه السلالة - أن هذه الصفة بسيطة، وأن العدد القليل من البويضات بالمبيض يسود على الكبير.

وأوضحت دراسات Kraup & Davis (١٩٧٠) أنه يتحكم فى محصول البسلة ومكوناته نظام وراثى إضافى، خاصة بالنسبة لكل من X، وY، وعدد البذور بالنبات.

وتراوحت درجة التوريث من ٠,٣٨ لعدد البذور بالنبات إلى ٠,٦٥ لمتوسط وزن البذرة (Z). وكان أعلى ارتباط للمحصول (W) مع (X)، وتلاه الارتباط مع (Y)، ثم مع (Z). ويعتقد الباحثان أن (X) هى أفضل دليل للانتخاب فى البسلة الجافة.

وفى دراسة أخرى.. قدر Pandey & Gritton (١٩٧٥) درجة التوريث — على النطاق الضيق — بنحو ٠,٠٨ فقط بالنسبة لصفة البذور الجافة (W)، بينما ارتفع التقدير إلى ٠,٨٠ بالنسبة لصفة متوسط وزن البذرة (Z).

وحاول مربو البسلة زيادة المحصول - بتربية أصناف تحتوى على عدد أكبر من القرون عند كل عقدة — واكتشفت طفرات بها ٣ قرون عند كل عقدة، واستخدمت فى إنتاج أصناف محسنة تحتوى على هذه الصفة، إلا أنه لم تحدث زيادة كبيرة فى المحصول نتيجة لذلك، مقارنة بالزيادة التى حدثت عند زيادة العدد من قرن إلى قرنين عند كل عقدة. وكان مرد ذلك إلى أن الأصناف ذات القرون الثلاثة — عند كل عقدة — كانت قرونها أقصر، وازدادت فيها نسبة البويضات التى تفشل فى إكمال نموها.

وتتوفر اختلافات وراثية فى عدد الأزهار عند كل عقدة؛ حيث يصل عدد الأزهار إلى ست أزهار وأكثر، كما تتوفر تباينات وراثية أخرى فى حجم القرن، إلا أن ذلك كله يرتبط بحجم البذرة، الذى يصبح عاملاً محددًا فى حالة زيادة عدد القرون، أو عدد البذور بالنبات.

الفاصوليا

كما سبق أن أوردنا تحت البسلة.. فإن محصول الفاصوليا من البذور الجافة يرتبط - هو الآخر - بمكونات هذا المحصول؛ وهى: عدد القرون بالنبات، وعدد البذور بالقرن، ومتوسط وزن البذور. وقد وجد Coyne (١٩٦٨) ارتباطًا جزئيًّا بين المحصول وتلك الصفات الثلاث، كما وجد ارتباطًا موجبًا منخفضًا بين مكونات المحصول المختلفة؛ مما يدل على إمكان زيادة المحصول بالانتخاب لأحد مكوناته، دون أن يؤثر

ذلك فى المكونات الأخرى. وفى تلك الدراسة .. كانت صفة العدد الكبير من القرون بالنبات سائدة سيادة تامة، ولكن درجات التوريث — المقدرة لكل من صفات المحصول ومكوناته – كانت منخفضة.

اللوبيا

أوضحت عديد من الدراسات أنه يمكن الانتخاب للمحصول المرتفع فى اللوبيا بالانتخاب لأحد مكونات المحصول الرئيسية، وهى: عدد القرون بالنبات، وعدد البذور بالقرن، وحجم البذور، إلا أنه يفضل — دائمًا – الانتخاب لصفة المحصول ذاتها. هذا.. وقدرت درجة التوريث — على النطاق العريض – بنحو ٥٤,٨٪ لصفة عدد القرون بالنبات، وبنحو ٤٦,١٪ لصفة محصول البذور.

الأساس الفسيولوجى للمحصول

العوامل المؤثرة فى الكفاءة الإنتاجية

إن الإنتاج المحصولى — لأى نبات – يعتمد على أربعة عوامل أساسية؛ هى:

١– معدل البناء الضوئى Photosynthesis.

٢– معدل التنفس Respiration.

٣– معدل انتقال الغذاء المجهز من أماكن تصنيعه فى الأوراق إلى حيث يستفيد منه النبات فى نموه، أو إلى حيث يخزن فى أعضاء التصنيع (Translocation).

٤– نسبة الغذاء المجهز التى تنتقل إلى الأجزاء الاقتصادية من النبات — وهى الأجزاء التى يزرع من أجلها المحصول – من الغذاء المُصّنع الكلى الذى يحتفظ به النبات بعد استقطاع الجزء المفقود منه بالتنفس.

ويتفرع من هذه العوامل الأربعة أمور أخرى كثيرة تتفاعل معها؛ حيث تؤثر فيها وتتأثر بها. وسوف نحاول من مُحصّلة ذلك كله — دون الدخول فى تفاصيل التحولات

لعمليتى البناء الضوئى والتنفس – الخروج بمفهوم واضح عن الأساس الفسيولوجى للمحصول فى النباتات.

إن من بين أهم الصفات المؤثرة فى الاختلافات بين الأصناف من حيث كفاءتها الإنتاجية ما يلى (عن Wallace وآخرين ١٩٧٢):

١–حجم المجموع الجذرى ومدى تشعبه؛ حيث توجد علاقة موجبة بين النمو الجذرى والكفاءة الإنتاجية.

٢–معدل البناء الضوئى فى وحدة المساحة من الأوراق.

٣–طريقة حمل الأوراق؛ فالأوراق القائمة تسمح بوصول الضوء إلى الأوراق السفلى بدرجة أكبر من الأوراق الأفقية؛ ومن ثم تزيد القدرة على البناء الضوئى فى الحالة الأولى.

٤–مدة بقاء الأوراق على درجة عالية من الكفاءة فى عملية البناء الضوئى.

٥–معدل انتقال المواد الغذائية المجهزة – خلال عملية البناء الضوئى – إلى الأعضاء النباتية التى يزرع من أجلها المحصول.

٦–مساحة الأوراق فى وحدة المساحة من أرض الحقل.

٧–المساحة الكلية لأوراق النبات، والمساحة الورقية المعرضة للضوء.

٨–سمك الورقة؛ حيث يزيد البناء الضوئى كلما ازداد سمك الورقة.

٩–معدل تبادل غاز ثانى أكسيد الكربون.

١٠– حجم الثغور، وأعدادها، ومدى مقاومتها لتبادل الغازات من خلالها، ومدة بقائها مفتوحة.

١١– مدى مقاومة النسيج الوسطى للورقة (الميزوفيل) لتبادل الغازات.

١٢– مدى توفر الإنزيمات اللازمة لعملية البناء الضوئى.

١٣- معدل التنفس.

١٤- الاختلافات الوراثية فى الاستجابة للفترة الضوئية، والحرارة، والارتباع Vernalization، والتسميد... إلخ.

وباختصار.. فإن المحصول الاقتصادى يعد محصلة لثلاثة أمور (عن Scully & Wallace ١٩٩٠)؛ هى:

١- مدى تأقلم أو توافق النبات على العوامل البيئية السائدة.

٢- قدرة النبات على "حصاد" الضوء من خلال عملية البناء الضوئى.

٣- قدرة النبات على تخصيص ونقل جزء كبير من الغذاء المجهز فى عملية البناء الضوئى إلى الأعضاء الاقتصادية التى يزرع من أجلها النبات.

ولقد لخص Wallace وآخرون (١٩٧٢) الدراسات التى أجريت على الأساس الفسيولوجى للاختلافات الوراثية فى كمية المحصول، مع التركيز على الفاصوليا؛ لكثرة الدراسات التى أجريت عليها فى هذا المجال. ويخلص الباحثون إلى أنه يمكن الاستعانة بالدراسات — التى أجريت على المكونات الفسيولوجية للمحصول — فى اختيار الآباء التى تستعمل فى برامج التربية؛ حيث قد يكون السبب فى ارتفاع المحصول زيادة المساحة الورقية فى أحد الأصناف، والتوزيع الجيد للضوء الساقط على المجموع الخضرى فى صنف ثان، ودليل الحصاد harvest index المرتفع فى صنف ثالث... وهكذا؛ الأمر الذى يعنى إمكان تجميع تلك الصفات — معًا — فى صنف واحد بالتربية.

هذا.. إلا أن كثرة المكونات الفسيولوجية للمحصول، وتداخلها، وتفاعلها مع بعضها البعض، ومع العوامل البيئية تؤدى — فى نهاية الأمر — إلى جعل درجة توريث تلك المكونات منخفضة جدًا؛ الأمر الذى يعد تحديًا للمربى.

دور البناء الضوئى

إن معدل البناء الضوئى ليس صفة بسيطة يمكن أن تؤخذ نتائج قياساتها كدليل مباشر على اختلافات وراثية بين النباتات فيها. فمع فرض توفر العناصر الغذائية، وغاز ثانى أكسيد الكربون، ودرجة الحرارة المناسبة لاستمرار عملية البناء الضوئى دون عوائق.. فإن معدل تلك العملية يتأثر بعديد من العوامل الأخرى؛ منها ما يلى:

١-مساحة الورقة.

٢-زاوية الورقة.

٣-الضوء المنعكس من الأوراق.

٤-الضوء النافذ خلال الأوراق.

٥-العلاقة الفسيولوجية بين شدة الإضاءة ومعدل البناء الضوئى، وهو ما يُعرف باسم منحنى الاستجابة للضوء Light Response Curve.

٦-مستوى الشمس فوق خط الأفق.

٧-شدة الإضاءة الشمسية(عن Stoskopf ١٩٨١).

إن الانتخاب المباشر لزيادة المحصول الاقتصادى فى محاصيل البقوليات التى تزرع لأجل بذورها – مثل الفاصوليا – لم يحقق نتائج على مستوى التوقعات. كما أن محاولات تحسين المحصول – من خلال الانتخاب غير المباشر لصفات فسيولوجية، أو بيوكيمائية ترتبط بعملية البناء الضوئى – كان كذلك مخيبا لآمال الكثيرين من مربى النباتات. ولا يعنى ذلك أن البناء الضوئى والمحصول الاقتصادى صفتان غير مرتبطتين؛ فذلك أمر غير منطقى، ولكن ما تعنيه نتائج تلك المحاولات أنها لم تجر فى الاتجاه الصحيح؛ حيث لم تكن القياسات التى استخدمت كأساس لعملية الانتخاب دلائل مناسبة للمحصول. فعلى سبيل المثال.. أوضح بعض الباحثين أن القياسات اللحظية

لمعدل البناء الضوئى لا يمكن أن تعد دليلاً على المحصول، أو على صافى عملية تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون خلال كل موسم النمو.

وإذا ما أُجرى انتخاب غير مباشر اعتمادًا على صفة أخرى.. فإن درجة توريث تلك الصفة يجب أن تكون أعلى من درجة توريث صفة المحصول، وأن يكون ارتباطهما معًا عاليًا. وقد وجد فى الفاصوليا أن هذه الفروض النظرية لم يمكن تحقيقها أو العمل بها، برغم وجود اختلافات وراثية عالية فى معدل البناء الضوئى بين أصناف الفاصوليا وسلالاتها(عن Scully & Wallace ١٩٩٠).

كذلك فإن معدل البناء الضوئى المقدر فى ورقة واحدة من النمو الخضرى للنبات لا يقوم دليلاً على معدل البناء الضوئى فى كل النمو الخضرى؛ نظرًا لاختلاف الأوراق كثيرًا فى تلك الخاصية.

وربما لا يرتبط المحصول الاقتصادى بمعدل البناء الضوئى؛ بسبب اختلاف المساحة الورقية بين مختلف الأصناف. ففى البطاطا.. كان معدل البناء الضوئى للورقة الواحدة فى الصنف سنتينيال Centennial أقل مما فى آخر – باستثناء صنف واحد – وبالرغم من ذلك احتل الصنف سنتينيال المركز الثالث – بين هذه الأصناف – فى محصول الجذور. كما تبين أن مساحة الورقة الواحدة فى هذا الصنف كانت أكبر مما فى الأصناف الأخرى.

ويقودنا ذلك إلى استعراض العلاقة بين معدل البناء الضوئى للورقة الواحدة، ومعدل انتقال الغذاء المجهز منها؛ لما لذلك من تأثير بالغ فى المحصول.. وقد تبين وجود ارتباط إيجابى بين الصفتين فى الفول السودانى وعديد من النباتات من ذوات المسارات النباتية C_3 و C_4 على حد سواء(عن Bhagsari & Ashley ١٩٩٠).

وتتوفر اختلافات واضحة فى معدل البناء الضوئى بين مختلف الأنواع النباتية، ولكن الجانب الأكبر من تلك الاختلافات يعتمد على ما إذا كانت التحولات الكيميائية

الحيوية – خلال عملية البناء الضوئى – تأخذ المسار C_3، أم المسار C_4؛ إذ توجد اختلافات وراثية فى معدل البناء الضوئى/ وحدة المساحة الورقية بين طرازى النباتات كما سيأتى بيانه.

وبرغم أنه يمكن تقدير معدل البناء الضوئى بدقة عالية.. إلا أن الطرق المستخدمة فى هذا الشأن لا تناسب مربى النبات الذى يتعين عليه –فى كثير من الأحيان– تقييم مئات أو آلاف النباتات أو السلالات خلال فترة وجيزة من الزمن.

وقد أمكن – فى هذا الشأن – التوصل إلى طريقة تفيد – على الأقل – فى اكتشاف الطفرات الأقل كفاءة فى عملية البناء الضوئى (Photosynthetic Mutants). ويتم ذلك بتعريض النباتات للأشعة فوق البنفسجية فى الظلام؛ حيث تظهر النباتات التى تحتوى على كلوروفيل غير طبيعى استشعاعًا أحمر اللون؛ وبذا يمكن التخلص منها. وتبدو تلك النباتات خضراء طبيعية اللون تحت ظروف الحقل، ولكنها لا تقوم بعملية البناء الضوئى بصورة طبيعية لعدة أيام أو أسابيع فى مبدأ حياتها؛ الأمر الذى يجعلها ضعيفة النمو آنذاك، برغم أن نباتاتها الكاملة قد تبدو طبيعية (عن Walbot ١٩٧٧).

دور التنفس

يعد التنفس أهم العمليات الحيوية التى تستنفذ طاقة النبات؛ حيث يؤدى إلى استهلاك الغذاء – المجهز فى عملية البناء الضوئى – بدلاً من الاستفادة منه فى مزيد من النمو الخضرى الذى تزرع لأجله بعض النباتات كالخضر الورقية ومحاصيل المراعى، أو بالتخزين فى الأعضاء النباتية التى يزرع من أجلها المحصول، مثل: الجزر، والدرنات، والثمار، والبذور...إلخ.

وبذا.. فان خفض معدلات التنفس يعد أمرًا حيويًا لزيادة المحصول. ويمكن ذلك – وراثيًا – بإحدى وسيلتين هما:

١– تقليل الفاقد فى الكربون الناتج من التنفس الضوئى Photorespiration – فى النباتات ذات مسار البناء الضوئى C_3 – بالانتخاب.

٢-زيادة كفاءة استفادة النبات من الطاقة بخفض نسبة الطاقة المستنفذة أثناء التنفس الظلامى Dark Respiration فى غير عمليات النمو.

التنفس الضوئى

يعرف - كما أسلفنا - طرازان من النباتات : C_3 و C_4 يختلفان فى المسارات البنائية التى يتم من خلالها تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى. وتعرف فئة النباتات التى يكون بأول المركبات الكربونية - التى فى عملية البناء الضوئى - ثلاث ذرات كربون باسم C_3. ومن أمثلتها فول الصويا، والحبوب، ومعظم محاصيل المراعى. وتكون الكفاءة التمثيلية منخفضة فى غالبية هذه النباتات (الـC_3)؛ بسبب ارتفاع معدل التنفس الضوئى فيها؛ الأمر الذى يستهلك حتى ٥٠٪ من الغذاء المجهز - من خلال عملية البناء الضوئى - فى المحاصيل ذات الكفاءة التمثيلية المنخفضة؛ مثل الفاصوليا، وفول الصويا،والقمح الربيعى.

أما النباتات التى يكون بأول المركبات الكربونية - التى تكونها فى عملية البناء الضوئى - أربع ذرات كربون.. فإنها تعرف باسم C_4، وهى تتضمن عددًا من محاصيل الجو الدافئ؛ مثل: الذرة، والسورجم، وبعض النجيليات الاستوائية. وتتميز تلك النباتات بارتفاع كفاءتها التمثيلية بسبب انخفاض معدل التنفس الضوئى فيها، إلى درجة يصعب معها اكتشافه وتقديره.

وبرغم اختلاف فئتى النباتات - الـ C_3، والـ C_4- بشدة فى كفاءتهما التمثيلية، فإن الفرق بينهما يتحكم فيه إنزيم واحد هو الـ ribulose diphosphate carboxylase. ويعتقد البعض أن إدخال النظام الإنزيمى المرغوب فيه فى النباتات الـC_3 يؤدى إلى التخلص من الفاقد بالتنفس الضوئى إلى درجة قد يزيد معها المحصول الاقتصادى بنسبة ٥٠٪ فى محاصيل كالقمح وفول الصويا (Stoskopf ١٩٨١).

وتقدر الزيادة فى كفاءة عملية البناء الضوئى فى فئة النباتات ذات المسار C_4 بحوالى ٤٠٪. وبرغم ذلك.. فإن التربية لخفض الفاقد من التنفس الضوئى فى النباتات

ذات المسار C_3 - بهدف زيادة إنتاجها المحصولى - لم تحقق نتائج ملموسة. فلقد وجدت اختلافات وراثية فى معدل التنفس الضوئى داخل الأنواع النباتية ذات المسار C_3، ولكن لم يظهر لتلك الاختلافات تأثير ثابت فى محصلة البناء الضوئى؛ حيث لم تظهر أية علاقة مؤكدة بين المتغيرين (عن Frey ١٩٨١).

التنفس الظلامى

إن للتنفس الظلامى دورين، أحدهما بنائى حيوى (أيضى) biosynthetic، والآخر يتعلق بعمليات "الصيانة" Maintenance العامة للنبات؛ ولذا.. فإن النباتات ربما تختلف فى تلك الصفة. ونجد فى المراحل المبكرة للنمو النباتى أن قدرًا كبيرًا من الطاقة يستنفد فى عمليتى انقسام الخلايا وزيادتها فى الحجم، بينما يحتاج النبات بعد ذلك إلى قدر ضئيل من الطاقة لمجرد عمليات الإدامة والصيانة.

فمثلاً.. نجد فى القطن أن ٣٠٪ - ٤٠٪ من نتائج عملية البناء الضوئى تستنفد فى التنفس. وفى إنجلترا.. وجد أن الطاقة اللازمة لعمليات الإدامة والصيانة فى الشعير تبلغ ٧٪ فقط من ناتج عملية البناء الضوئى فى شهر مايو (فى بداية حياة النبات)، وتزيد إلى نحو ٦٥٪ فى مرحلة امتلاء الحبوب. وقد أمكن انتخاب طرز من الشيلم بطيئة، وطرز أخرى سريعة فى معدل التنفس الظلامى فى الأوراق البالغة، وبلغت الزيادة فى المحصول التى تحققت فى الطرز البطيئة فى معدل التنفس الظلامى حوالى ٧٪.

وبناء على ما تقدم بيانه، فقد توصل الباحثون إلى أن فرصة تحسين المحصول تبدو ضعيفة عند التربية لخفض معدل التنفس الضوئى، بينما تكون مشجعة وممكنة عند التربية بهدف خفض معدل التنفس الظلامى (عن Frey ١٩٨١).

الفصل السادس

تربية الخضر لزيادة قدرتها الإنتاجية

التربية لزيادة المحصول

إن صفة المحصول – كما هو معلوم – صفة كمية مركبة. ويذهب بعض مربى النبات إلى اعتبار أن المحصول هو محصلة فعل جميع الجينات التى يحملها النبات، وهو قول لا يذهب بعيدًا عن الواقع. ولكن تتفاوت الصفات النباتية – كثيرًا – من حيث تأثيرها فى المحصول. ولا يمكن معرفة الحجم الحقيقى لتأثير كل جين إلا بإنتاج سلالات تختلف فى آليات هذا الجين – بينما تكون أصولها الوراثة متشابهة (isogenic lines) – ثم مقارنة محصولها.

ونظرًا لاختلاف الأسلوب الأمثل للتربية لزيادة المحصول باختلاف المحصول، فإننا نتناول الموضوع بالشرح تحت عدد من محاصيل الخضر كأمثلة.

الطماطم

أولا: المحصول المبكر

يجرى الانتخاب للتبكير فى النضج – عادة – على أحد الأسس التالية:

١–التبكير فى الإزهار أو العقد، أو نضج الثمار قبل موعد معين يتم تحديده سلفًا (على أساس نقص المعروض من الطماطم فى الأسواق خلال فترات معينة)، أو مقارنة بأى صنف آخر يكون من الأصناف القياسية المبكرة، أو التى تزرع على نطاق واسع.

٢–كمية المحصول المبكر الذى يتحدد – عادة – على أحد الأسس التالية:

أ– المحصول الذى يتم حصاده خلال الخمسة عشر يومًا الأولى من موسم الحصاد.

ب–محصول الجمعتين أو الجمعات الثلاث الأولى.

ج–المحصول الذى يتم حصاده قبل بداية الحصاد من الصنف القياسى.

د– المحصول الذى يتم حصاده قبل تاريخ معين.

وتوجد مقاييس أخرى لتحديد المحصول المبكر. وعمومًا.. فإن المربى يأخذ منها ما يناسبه.

وقد دُرس الارتباط بين التبكير فى النضج وصفات نباتية أخرى؛ بهدف الانتخاب لصفة التبكير دونما حاجة إلى الانتظار لحين نضج المحصول. فمثلاً.. وجد Pandita & Andrew (١٩٦٧) ارتباطًا معنويًا سالبًا بين محتوى الورقة من عنصر الفوسفور، وعدد الأيام حتى النضج، وذلك فى عدد من أصناف الطماطم التى تختلف فى موعد نضجها. كان الارتباط – فى النباتات الصغيرة التى يبلغ عمرها ٦–٨ أسابيع – أكبر مما فى النباتات الأكبر التى يبلغ عمرها ١٠–١٢ أسبوعًا. واقترح الباحثان الانتخاب لصفة التبكير فى النضج، بتحليل مستوى الفوسفور فى أوراق النباتات – وهى فى مرحلة مبكرة من نموها – بدلاً من الانتظار لحين نضج الثمار. هذا.. وقد وجد الباحثان ارتباطًا وثيقًا مماثلاً فى محصول الخس.

وتبعًا لـ Boswell (١٩٣٧).. فإن موعد النضج صفة كمية يتحكم فيها جينات ذات تأثير إضافى – غالبًا – نظرًا لأن نباتات الجيل الأول تكون وسطًا بين الأبوين، بينما تظهر كل التدرجات فى موعد النضج فى نباتات الجيل الثانى. ويعتبر التبكر فى النضج من الصفات المنخفضة فى درجة توريثها؛ حيث قدرت على النطاق العريض (Broad Sense Heritability) بنحو ٢١٪ (Cuartero & Cubero ١٩٨٢).

ثانيا: المحصول الكلى

من أبرز الأمثلة على الصفات المؤثرة فى المحصول برغم أنها لا تذكر – عادة – فى هذا الشأن صفتا النمو المحدود مقابل النمو غير المحدود والنمو الطبيعى مقابل النمو المتقزم.. علمًا بأن كلتيهما صفة بسيطة يسود فيها النمو غير المحدود والمتقزم على

التوالى. كما يتوقع أن يكون لصفات الورقة تأثيرات متباينة فى المحصول الكلى للنبات، ومن أمثلتها: صفات اللون الأخضر مقابل اللون الأخضر المصفر، والطبيعية المظهر مقابل الذابلة Wilty، والعادية الشكل مقابل الشبيهة بورقة البطاطس.. علمًا بأن جميعها صفات بسيطة يسود فيها اللون الأخضر، والمظهر والشكل الطبيعيين على التوالى. هذا.. بينما لا يتوقع أن يكون لصفات أخرى أى تأثير فى المحصول؛ مثل صفة لون ساق البادرة الأرجوانى مقابل اللون الأخضر، وهى صفة بسيطة يسود فيها اللون الأرجوانى.

هذا.. إلاّ إنه عند التربية للمحصول.. فإن جل اهتمام المربى ينصب إما على المحصول الكلى مباشرة، وإما على مكونات هذا المحصول — كل على حدة — وإما على الصفات الفسيولوجية التى يكون لها دور مباشر فى التأثير فى المحصول.

ومن أهم مكونات المحصول فى الطماطم: عدد العناقيد الزهرية، وعدد الأزهار بكل عنقود، ونسبة العقد (أو عدد الثمار بكل عنقود)، ومتوسط وزن الثمرة. وكما هو متوقع.. فإن درجة توريث المحصول تكون منخفضة جدًّا إذا لم تؤخذ — فى الحسبان — مكونات هذا المحصول، أو الصفات الفسيولوجية التى تؤثر فيه كل على انفراد. فمثلاً.. قدرت درجة توريث المحصول على النطاق العريض فى إحدى الدراسات بنحو ١٠٪ فقط. وفى المقابل.. ارتفعت درجة التوريث المقدّرة لعدد الثمار بالنبات إلى نحو ٦٣٪ (Cuartero & Cubero ١٩٨٢ و Yassin ١٩٨٨). وكذلك حُصل على تقديرات عالية بلغت ٦٧٪ لدرجة التوريث على النطاق العريض لصفة عدد الأوراق بين العناقيد، وهى — كسابقتها — صفات ترتبط بصفة المحصول الذى يزيد بزيادة عدد الثمار بالنبات، وبنقص عدد الأوراق بين كل عنقودين زهريين.

وتفيد دراسة الأساس الفسيولوجى للمحصول فى إمكانية الربط بين المحصول المرتفع ومختلف العمليات الفسيولوجية، التى تسهم بدور فعال فى إنتاج هذا المحصول فى السلالات المختلفة؛ وبذا تتضح الرؤية أمام المربى، الذى يسعى — بناء على هذه

المعلومات — إلى جمع تلك الصفات الفسيولوجية فى تركيب وراثى واحد يكون أعلى محصولاً من أى من السلالات المستخدمة فى إنتاجه منفردة.

ويتبين — فيما يلى — الاتجاه السائد فيما يتعلق بهذه النوعية من الدراسات:

• وجدت اختلافات كبيرة بين أصناف الطماطم فى كفاءتها فى عملية البناء الضوئى، كما تبين وجود علاقة فى بعض سلالات الطماطم بين كفاءة عملية البناء الضوئى وبعض صفات الورقة المورفولوجية والتشريحية والفسيولوجية. وكانت أكثر الصفات دلالة على مدى كفاءة عملية البناء الضوئى هى محتوى الأوراق من الكلوروفيل؛ حيث بلغ معامل الارتباط (r) بين الصنفين ٠,٦٩.

• أظهرت الدراسات الوراثية أن صفتى كفاءة البناء الضوئى والمحتوى الورقى المرتفع من الكلوروفيل يتحكم فيهما — معًا — جين واحد؛ وهو ما يعنى أن انتخاب النباتات ذات الأوراق الخضراء القاتمة يعنى — تلقائيًا — انتخاب التراكيب الوراثية ذات الكفاءة التمثيلية العالية. وقد تبين — كذلك — أن تلك الكفاءة العالية كانت مرتبطة بزيادة كبيرة فى كمية ونشاط إنزيم ribulose, 1-5-biphosphate carboxylase.

• تبين أن كفاءة انتقال الغذاء المجهز — من الأوراق إلى الثمار — كانت منخفضة نسبيًا فى أصناف الطماطم غير المحدودة النمو، التى انتقل فيها أقل من ٢٠٪ من الكربون المشع (C^{14}) خلال فترة ٢٤ ساعة، كما اتضح أن أصناف الحصاد الآلى القديمة كانت — هى الأخرى — قليلة الكفاءة فى نقل الغذاء المجهز إلى الثمار. وأمكن التغلب على هذه المشكلة بتحسين دليل الحصاد، وبزيادة كفاءة الثمار فى استقبال الغذاء المجهز. ويظهر ذلك بوضوح فى أصناف الحصاد الآلى الحديثة العالية المحصول، التى تعقد ثمارها وتنضج فى وقت واحد.

• اتضح أن ثمار الطماطم لديها قدرة محدودة على تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون بها، بالرغم من أن أديم الثمرة غير منفذ للغازات؛ فقد وجد أن نسبة المادة

الجافة التى تُصنَّع بالثمار ذاتها تصل إلى ١٠٪–١٥٪ من تلك التى توجد بها، كما لوحظ أن ثمار الأصناف ذات المحتوى الكلوروفيللى المرتفع قبل النضج كانت – أحيانًا – ذات محتوى عالٍ من المواد الصلبة الذائبة الكلية وحامض الأسكوربيك بعد النضج. إلا إنه نظرًا لأن معظم الطفرات المعروفة – التى تؤثر فى لون الثمار غير الناضجة – تؤثر كذلك فى مستوى الكلوروفيل فى النموات الخضرية؛ لذا يصعب تحديد الدور التى تلعبه الثمار فى تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون بها.

• ربما كان من الممكن زيادة المحصول بالانتخاب لصفة المعدل المنخفض للتنفس فى الثمار، خاصة بعد اكتشاف اختلافات وراثية فى مستوى نشاط إنزيم ribulose,1-5 biphosphate carboxylase – المؤثر فى معدل التنفس – فى الثمار (عن Stevens & Rudich ١٩٧٨).

• أظهرت دراسة – أجريت على ١٥ صنفًا من الطماطم، و١٠٤ من هجن الجيل الأول بينها – وجود اختلافات جوهرية جدًّا فى القدرة العامة على التآلف بين الآباء فى جميع الصفات التى درست (وهى الكفاءة التمثيلية، ونسبة المساحة الورقية، والمساحة الورقية الخاصة)، واختلافات جوهرية فى القدرة الخاصة على التآلف لبعض الصفات. كما ظهرت ارتباطات سالبة قوية بين القيم المُقدَّرة للقدرة العامة على التآلف لكل من الكفاءة التمثيلية مع المساحة النسبية للأوراق، والكفاءة التمثيلية مع المساحة الورقية الخاصة Specific Leaf Area. وتبين كذلك وجود ارتباط موجب قوى بين القيم المُقدَّرة للقدرة العامة على التآلف لنسبة المساحة الورقية مع المساحة الورقية الخاصة (Smeets & Garretsen ١٩٨٦).

• أظهرت دراسة أخرى على نفس الأصناف والهجن السابقة وجود اختلافات جوهرية فى كل من القدرة العامة على التآلف والقدرة الخاصة على التآلف بالنسبة لصفات: صافى البناء الضوئى net photosynthesis، والتنفس الظلامى dark respiration، والوزن

الورقى الطازج الخاص specific leaf fresh weight، ومقاومة الثغور stomatal resisance (Van De Dijk ١٩٨٧)؛ وجميعها صفات تسهم بدرجات متفاوتة فى تحديد المحصول الكلى للنبات.

وقد تمكن مربى النبات من توجيه نمو نبات الطماطم بما يناسب حصاده آليًا، وتحقق ذلك بإنتاج نباتات ذات نمو مندمج تعطى جُل إزهارها وإثمارها خلال فترة زمنية قصيرة؛ الأمر الذى يمكن معه حصادها آليًا مرة واحدة. ولكن كانت هناك دائمًا مشكلة التربية لزيادة المحصول، مع زيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى تلك الأصناف التى تنضج جميع ثمارها فى وقت متقارب، لأن قدرة النبات على تمثل الغذاء تكون محدودة بتلك الفترة، بعكس الحال فى الأصناف غير المحدودة النمو التى تبقى مثمرة لفترات طويلة.

البطاطس

أوضحت الدراسات الوراثية — التى استخدمت فيها البذور الحقيقية — أن صفة المحصول فى البطاطس تتأثر — فقط — بالتباين غير الإضافى للجينات. وبالرغم من ذلك.. كانت درجات التوريث المقدرة لبعض صفات مكونات المحصول — مثل عدد الدرنات بالنبات وحجم الدرنات — عالية نسبيًا. وقد خلص الباحثون إلى إمكان تحسين محصول البطاطس بالانتخاب للصفات الأخرى ذات درجات التوريث المرتفعة؛ مثل حجم الدرنة (Thompson وآخرون ١٩٨٣).

ويراعى — فى هذا الشأن — انتخاب النباتات التى تضع العدد المناسب من الدرنات بالحجم المناسب. فقد يضع النبات عددًا كبيرًا من الدرنات، إلا أنها تكون صغيرة الحجم لا تصلح للاستهلاك، أو قد يضع عددًا قليلاً من الدرنات، إلا أنها تكون أكبر حجمًا من اللازم؛ لذا.. يلزم دائمًا — عند إجراء التلقيحات — ألا تكون بين أصناف أو سلالات تضع أعدادًا كبيرة من الدرنات الصغيرة، وإلا اضطر المربى إلى

استبعاد نسبة كبيرة من النسل؛ لأن درناته تكون أصغر مما ينبغي؛ بسبب الزيادة الكبيرة في أعدادها.

وكما سبق أن أوضحنا بالنسبة للطماطم.. فإن طبيعة النمو النباتي قد يكون لها تأثير غير مباشر في المحصول.

وتعد صفة النمو الطبيعي سائدة على صفة النمو المفترش؛ ويتحكم فيها ٣ أزواج – على الأقل – من العوامل الوراثية (عن Howard ١٩٦٩).

كذلك يتوقف محصول البطاطس – إلى حد كبير – على المدة التي تلزم لحين نضج الدرنات. والقاعدة العامة هي أنه كلما تأخر الحصاد ازداد المحصول؛ لذا .. فمن الضروري أن يحدد المربي – سلفًا – درجة التبكير أو التأخير في النضج التي يريدها في الصنف الجديد.. علمًا بأنه لا يشترط أن تكون الأصناف المبكرة مبكرة النضج، بل إن المعيار هو إنتاج محصول اقتصادي مربح في بداية الموسم. ومع ذلك.. فهناك من الأصناف المبكرة ما تنضج درناتها مبكرًا. هذا.. إلا أن جميع الأصناف المتأخرة تكون متأخرة النضج، ولا يمكنها إنتاج محصول اقتصادي مربح مبكرًا في بداية الموسم.

تدل الدراسات الوراثية على أن موعد النضج يعتمد على عدد من الجينات، وأن الأصناف خليطة في معظم هذه الجينات؛ لذا.. فإن نسبة الانعزالات المبكرة لا تزيد على ٦٠٪ في التلقيحات بين الأصناف أو السلالات المبكرة وبعضها البعض، وتكون في حدود ٢٠٪ في التلقيحات بين الأصناف المبكرة والمتأخرة .

وأيا كانت الصفات التي ترتبط بالمحصول بصورة غير مباشرة.. فإن القدرة على تثبيت غاز ثاني أكسيد الكربون في النبات تعد أكثر الصفات التي لها ارتباط مباشر بالمحصول. وفي هذا المجال.. وجد Dwelle وآخرون (عن Dwelle ١٩٨٤) اختلافات كبيرة بين أصناف البطاطس في معدل البناء الضوئي، وأمكنهم تعرُّف عديد من الأصناف المتفوقة في تلك الصفة. وبدراسة هذه الأصناف.. تبين أن بعضها كان ذا قدرة

عالية علي تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون من خلال السطح العلوى للأوراق (مثل الصنف Lemhi Russet)، بينما تفوق بعضها الآخر فى تثبيت الغاز من خلال السطح السفلى للأوراق (مثل السلالة الخضرية A 6948-4) وبتلقيحهما معًا.. أمكن التعرف — فى النسل — على كل الانعزالات الوراثية الممكنة بالنسبة للقدرة العالية أو المنخفضة على تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون من خلال أحد سطحى الورقة أو كليهما، وكان من بينها سلالات قليلة ذات قدرات عالية على تثبيت الغاز من كلا سطحى الورقة، إلا أنها لم تكن جميعها عالية المحصول؛ نظرًا لأن بعضها وجهت الزيادة الكبيرة فى الغذاء المجهز نحو إنتاج نمو خضرى غزير، بينما كان محصول درناتها متوسطًا.

الفلفل

يعد عدد الأزهار — عند كل عقدة — من الصفات المميزة لأنواع الجنس *Capsicum*؛ حيث يكون العدد زهرة واحدة عند كل عقدة فى النوع *C. annuum*، و٢–٣ أزهار فى النوع *C. frutescens*، و٣–٥ أزهار فى النوع *C. chinense*.

ويساعد نقل صفة الأزهار الكثيرة عند كل عقدة — من الأنواع البرية إلى الأصناف التجارية — على تركيز عقد الثمار، وتجانس النضج، وخفض تكاليف الحصاد، مع احتمال زيادة المحصول.

وقد قام Subramanya (١٩٨٣) بتلقيح السلالة P.I. 159236 من *C. chinense* مع الصنف Delray Bell من النوع *C. annuum* فى محاولة لنقل صفة تعدد الأزهار عند كل عقدة من النوع الأول إلى الثانى، وكان الجيل الأول بينهما وسطًا فى الصفة؛ حيث ظهرت به زهرتان عند كل عقدة. وتبين من الانعزالات فى الجيلين الثانى والثالث والتلقيحات الرجعية أن جينات قليلة رئيسية (ربما ثلاثة جينات) تتحكم فى صفة وجود زهرتين عند كل عقدة، بينما لزمت جينات أخرى إضافية لظهور صفة وجود أكثر من زهرتين عند كل عقدة.

وتأكيدًا لذلك.. وجد Tanksley & Iglesias–Olivas (١٩٨٤) أن صفة تعدد الأزهار فى العقدة الواحدة فى النوع *C. chinense* (التى يبلغ متوسطها ٢–٤ أزهار/عقدة، وإن كانت تصل فى بعض الأصناف إلى ١٠ أزهار/عقدة) — مقارنة بطبيعة حمل الأزهار المفردة فى النوع *C. annuum* — يتحكم فيها ٥ أزواج من العوامل الوراثية على الأقل، كما يذكر Greenleaf (١٩٨٦) أن عدد الجينات الذى يتحكم فى هذه الصفة ربما كان ٧ أزواج. وبالمقارنة.. كان Barrios & Moskar (١٩٧٢) قد توصلا إلى أن صفة حمل الأزهار فى عناقيد يتحكم فيها عامل وراثى واحد.

يعد حجم ثمرة الفلفل صفة كمية يتحكم فيها عديد من العوامل الوراثية. وقدر عددها — فى إحدى الدراسات — بنحو ٢٠–٢٣ عاملاً وراثيًا. وتكون ثمار الجيل الأول وسطًا فى الحجم بين ثمار نباتات الآباء. ويستدل من إحدى الدراسات على أنه يمكن التنبؤ بحجم ثمار الجيل الأول من الجذر التربيعى لحاصل ضرب متوسط حجم ثمار كل من أبوى الهجين. كما أوضحت دراسة أخرى أن صفة الثمار الكبيرة سائدة على الثمار الصغيرة (عن Khalil ١٩٧٤).

وقد تبين من دراسات Maksoud وآخرين (١٩٧٧) أن صفة وزن أو حجم ثمرة الفلفل يتحكم فيها زوجان من العوامل الوراثية، مع وجود سيادة جزئية لصفة الثمار الصغيرة، بالإضافة إلى وجود عديد من الجينات المحورة التى تلزم لظهور صفة الثمار الصغيرة، وقدرت درجة توريث الصفة على النطاق العريض بنحو ٨٩٪.

هذا.. ويوجد ارتباط موجب بين ثمرة الفلفل ومساحة الورقة، لدرجة أن بعض الباحثين اعتقد بإمكان الانتخاب لصفة الثمار الكبيرة بانتخاب البادرات ذات الأوراق الكبيرة. وبرغم ذلك.. فإن الصفتين يتحكم فيهما عوامل وراثية مختلفة.

الخيار

من أهم الصفات التى اهتم بها مربى النبات — لتحسين محصول الخيار — ما يلى:

حالة الجنس والنسبة الجنسية

إن حالة الجنس (كون النبات يحمل — مثلاً — أزهارًا مؤنثة فقط، أم كاملة فقط، أم أزهارًا مؤنثة وأخرى كاملة، أم أزهارًا مذكرة مع أزهار كاملة)، وكذلك النسبة الجنسية (نسبة الأزهار المؤنثة أو الكاملة إلى الأزهار المذكرة) تؤثران فى محصول الخيار؛ ذلك لأن ثمار الخيار (المحصول الاقتصادى) تتكون بنمو مبايض الأزهار المؤنثة أو الخنثى، سواء أعقدت فيها بذور (أى كانت بذرية)، أم لم تعقد (أى كانت بكرية)، كما أن ثمار الخيار تحصد — للاستهلاك — قبل اكتمال نضجها النباتى بوقت طويل؛ وبذا.. يمكن للنبات الواحد أن ينتج عديدًا من الثمار الصالحة للاستهلاك، بعكس الحال فى البطيخ والقاوون اللذين تحصد ثمارهما بعد وصولها إلى مرحلة النضج النباتى. ولأجل هذا.. كان اهتمام مربى النبات بحالة الجنس، وبالنسبة الجنسية — فى الخيار — كثيرًا.

تتوفر فى الخيار جميع حالات الجنس، وهى إنتاج أزهار مذكرة وأزهار مؤنثة على نفس النبات (وحيدة الجنس وحيدة المسكن monoecious)، وإنتاج أزهار مؤنثة فقط (أنثوية gynoecious)، وإنتاج أزهار مؤنثة وأزهار كاملة (gynomonoecious)، وإنتاج أزهار مذكرة وأزهار كاملة (andromonoecious)، وإنتاج أزهار كاملة فقط (hermaphroditic)، وإنتاج أزهار مذكرة وأزهار مؤنثة وأزهار كاملة (trimonoecios)، وإنتاج أزهار مذكرة فقط (androecious).

يتحكم فى صفة إنتاج الأزهار المؤنثة (حالة الـ gynoecious) جين واحد سائد يأخذ الرمز F، ولكن فعل هذا الجين يتأثر — بشدة — بالجينات المحورة وبالعوامل البيئية. ولا يشترط أن تكون النباتات الحاملة لهذا الجين كاملة الأنوثة؛ فقد تكون وحيدة الجنس وحيدة المسكن أو خنثى كذلك. ويتوقف ذلك على الجينات الأخرى التى تتفاعل مع الجين F، والخلفية الوراثية للسلالة، والظروف البيئية. ولكن السلالات الحاملة لهذا الجين السائد تكون فيها نسبة الأزهار المؤنثة أعلى منها فى السلالات

ذات الأصول الوراثية المشابهة isogenic lines التى تحمل الآليل المتنحى f. ومن الجينات المؤثرة فى صفة الأنوثة الجين In-F الذى يزيد intensifies حالة الأنوثة (عن Rohinson وآخرين ١٩٧٦).

وقد وجد أن صفة الذكورة (أى إنتاج أزهار مذكرة فقط androecious) يتحكم فيها عامل وراثى متنح أعطى الرمز a، بينما تكون النباتات الحاملة للجين السائد A وحيدة الجنس وحيدة المسكن.

ويذكر أن حالة الجنس فى الخيار يتحكم فيها زوجان من العوامل الوراثية؛ هما: M و F. وبينما يحدد الجين M وآليله m كون الزهرة مؤنثة (M-) أم كاملة (mm).. فإن الجين F وآليله f يحددان ما إذا كان النبات خاليًا تمامًا من أية أزهار مذكرة (F-)، أم تظهر به بعض الأزهار المذكرة على العقد الأولى من الساق الرئيسية (ff). ينعزل الجينان مستقلين عن بعضيهما، وتكون التراكيب الوراثية الممكنة والأشكال المظهرية المقابلة لها كما يلى:

التركيب الوراثى	الشكل المظهرى
M- F-	أنثوى gynoecious
M- ff	وحيد الجنس وحيد المسكن monoecious
mm F-	خنثوى hermaphroditic
mm ff	مذكرة androecious

ويتأثر ذلك كله بكل من الجينات المحورة والعوامل البيئية وقد اقترح Iezzoni وآخرون (١٩٨٢) وجود جين آخر (M-2) – إلى جانب الجين M – يؤثر فى صفة الجنس بطريقة مكملة Complementary، كما وجدوا أن كلا الجينين M، و M-2 يرتبط بشدة بالجين المسئول عن المقاومة لمرض الذبول البكتيرى.

وقد درس Miller & Quisenberry (١٩٧٦) وراثة عدد الأيام من الزراعة إلى حين ظهور أول زهرة مؤنثة. وتوصلا إلى النتائج التالية:

١–كان معظم التباين الوراثى إضافيًا، ولكن ظهرت سيادة جزئية لكل من صفة الإزهار المبكر وصفة تكوين أول زهرة عند عقدة أقرب لقاعدة الساق.

٢–يتحكم فى عدد الأيام — من الزراعة إلى حين ظهور أول زهرة مؤنثة — عدد قليل من الجينات. وكانت درجة توريث هذه الصفة عالية نسبيًا؛ حيث تراوحت من ٠,٤٦ — ٠,٦٢.

٣–برغم اختلاف الأصناف فى سرعة إنبات البذور.. إلا أن هذه الصفة لم تكن ذات أهمية بالنسبة للمحصول المبكر، مقارنة بصفة عدد الأيام إلى حين ظهور أول زهرة بالنبات.

٤–كان للحرارة المنخفضة تأثير سلبى؛ إذ إنها أبطأت النمو النباتى، وأخرت ظهور أول زهرة إلى عقدة أبعد عن قاعدة الساق.

٥–كان الارتباط بين موعد الإزهار ومتوسط تاريخ الحصاد جوهريًا وعاليًا، وبلغت قيمته ٠,٨٢.

هذا.. وتمر نباتات الخيار الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن بمراحل للنمو، تنتج فيها النباتات — على التوالى — أزهارًا مذكرة فقط، ثم أزهارًا مختلطة، ثم أزهارًا مؤنثة فقط.

وقد وجد George (١٩٧١) جينًا سائدًا يسرع التحول من حالة إنتاج الأزهار المذكرة إلى إنتاج الأزهار المؤنثة، أعطى الرمز Acr؛ نسبة إلى الصفة accelerator.

وبالمقارنة.. وجد جين آخر متنح يؤخر الإزهار فى ظروف النهار القصير، وقد أعطى الرمز df؛ نسبة إلى الصفة delayed flowering. وتبين أن حالة من سكون البذور ترتبط بهذا الجين فى الأجيال الانعزالية.

طبيعة النمو

يتحكم فى صفة النمو المحدود جين واحد متنح، يأخذ الرمز de؛ نسبة إلى الصفة determinate، وإن كان البعض يعتقد أن هذا الجين ذو سيادة غير تامة. ويتأثر فعل الجين بجين آخر محور هو In-de.

يوجد جين آخر متنح يجعل النبات خاليًا من القمة لدى تعرضه لصدمة حرارية temperature shock ويأخذ هذا الجين الرمز bl نسبة إلى الوصف الذى يتميز به هذا النبات وهو "blind". ويمنع تكوين المحاليق tendrils جين واحد متنح يأخذ الرمز td، له تأثيرات أخرى فى تركيب الثمرة والورقة.

وبالنسبة لطول النبات فإن الجين السائد T يتحكم فى صفة النبات الطويل tall، ويتحكم الجين المتنحى cp فى صفة النمو المندمج compact، والجين المتنحى dw فى صفة النمو المتقزم dwarf. ويؤدى كل من الجينين الأخيرين إلى تقصير سلاميات النبات.

وجدير بالذكر أن النباتات المندمجة cpcp تكون شديدة التقزم، ولا يزيد حجم بذورها على ثلث حجم بذور النباتات التى تحمل الآليل السائد Cp.

كما أن الجين de الخاص بالنمو المحدود يؤثر فى طول السلاميات، ولكنه لا يؤثر فى عددها (Kauffman & Lower ١٩٧٦). أما الجين in-de.. فيؤدى وجوده بحالة متنحية أصيلة مع الجين de إلى جعل النباتات متقزمة كثيرة الأوراق (George ١٩٧٠). ولجميع هذه الجينات أهمية خاصة عند التربية للصلاحية للحصاد الآلى، ولها تأثيرات كبيرة فى محصول النبات من الثمار، ومسافات الزراعة التى تناسب إنتاج أعلى محصول من وحدة المساحة من الأرض فى كل حالة من حالات طبيعة النمو.

وقد وجدت صفات اقتصادية كثيرة هامة فى الصنف النباتى *C. sativus* var. *hardwickii* يمكن إدخالها فى الخيار المزروع؛ مثل: حمله عدة ثمار عند كل عقدة، وخلوه من ظاهرة السيادة القمية؛ حيث يعطى فروعًا جانبية أكثر وأطول مما فى الخيار.

ولكن يعيب هذا الصنف النباتى أن ثماره صغيرة الحجم (يتراوح طولها من ٤-٨ سم)، بيضاوية الشكل، ويوجد بها فجوات بذرية كبيرة، وعلى سطحها أشواك سوداء قوية، وجلدها صلب قوى، وطعمها مر. هذا.. فضلاً على أن بعض سلالاته التى درست من قبل (مثل P.I. 183967، و P.I. 215589) وجدت قصيرة النهار اختياريًّا facultative short-day، كما كانت سلالات أخرى - مثل LJ 90430 قصيرة النهار إجباريًّا؛ حيث لم تزهر إلا عندما قصرت الفترة الضوئية عن ١٢ ساعة مع حرارة ٣٠°م نهارًا، و ٢٠°م ليلاً؛ الأمر الذى يشكل تحديًا للاستفادة من هذا الصنف النباتى فى تحسين الخيار المزروع.

وباستخدام طريقة الانتخاب المتكرر، والسلالة P.I. 90430 من *C. sativus* var *hardwickii* كمصدر لصفة تعدد الثمار .. أمكن إحراز تقدم ملحوظ - خلال ثلاث دورات من الانتخاب - فى متوسط عدد ثمار التخليل/ نبات عند إجراء الحصاد مرة واحدة آليًا.

كما حاول Delaney & Lower (١٩٨٧) الجمع بين صفة تعدد الفروع والثمار من هذا الصنف النباتى مع صفة النمو المحدود determinate من سلالتى الخيار Spacemaster، و NCSU M27.

وفى دراسة أخرى.. وجد Kupper & Staub (١٩٨٨) أن سبع سلالات من النوع النباتى *C. sativus* var *hardwickii* كانت ذات قدرة عامة على التآلف مع ثلاث سلالات من الخيار فى جميع الصفات التى درساها؛ وهى: عدد الثمار، وعدد الفروع الجانبية، وطول الثمرة، ونسبة طول الثمرة إلى قطرها، وعدد العقد التى تحمل أزهارًا مؤنثة، وعدد الأيام إلى تفتح الأزهار anthesis؛ الأمر الذى يدل على إمكان الاستفادة منه فى تحسين الصفات البستانية فى الخيار.

وبوجه عام.. فإن المربى يأمل فى زيادة محصول النبات الواحد، وتركيز إثماره؛ ليمكن حصاده آليًا من خلال ثلاث صفات؛ هى:

١- صفة التقزم Dwarfism.. حيث يمكن زراعة السلالات المتقزمة على مسافات ضيقة، وبذا.. يزيد عدد الثمار التى يمكن حصادها آليًا مرة واحدة.

٢- صفة الأنوثة.. حيث يبدأ إنتاج الأزهار المؤنثة مبكرًا وبصورة أكثر تركيزًا. وقد وجد Prend & John (١٩٧٦) أن محصول الهجن المتقزمة الأنثوية gynoecious dwarf كان أكثر من مِثْلَى محصول الهجن الأنثوية العادية. كما كان متوسط عدد الثمار بالنبات أكبر مما فى الهجن الأنثوية العادية عندما أجرى الحصاد مرة واحدة آليًا.

٣- صفة كثرة التفريع وكثرة عدد الثمار/نبات التى تتوفر فى الصنف النباتى *C. melo* var. *hardwickii*، وقد سبقت الإشارة إليها.

الكنتالوب

برغم أن قدرة نبات الكنتالوب (القاوون) على إنتاج الثمار (وهى التى تحصد للاستهلاك عند بلوغها مرحلة النضج النباتى) محدودة.. إلاّ أن حالة الجنس والنسبة الجنسية — وهما الصفتان المتحكمتان فى عدد الثمار التى يمكن أن ينتجها النبات — نالتا اهتمامًا كبيرًا من مربى النبات.

لقد وجد أن جينًا واحدًا متنحيًا (a) يحول النبات من الحالة الـ monoecious (أى الوحيد الجنس الوحيد المسكن) إلى الحالة الـ andromonoecious (أى التى يحمل فيها النبات أزهارًا كاملة وأزهارًا مذكرة) (عن Robinson وآخرين ١٩٧٦).

ويذكر Whitaker & Davis (١٩٦٢) أن الجينين: A و G يتحكمان فى وراثة الجنس فى القاوون على النحو التالى: يجعل الجين A معظم الأزهار الكاملة مؤنثة، ويجعل الجين G معظم الأزهار الكاملة مذكرة، وبذا.. يكون نسل النبات الخليط Aa Gg على النحو التالى:

التركيب الوراثى	النسبة	الشكل المظهرى
A-G-	٩	توجد أزهار مذكرة وأزهار مؤنثة monoecious
aa G-	٣	توجد أزهار مذكرة وأزهار كاملة andromonoecious
A- gg	٣	توجد أزهار مؤنثة وأزهار كاملة gynomonoecious
aa gg	١	توجد أزهار كاملة فقط perfect

هذا.. إلا أن النباتات ذات التركيب الوراثى A-gg لا تكون دائمًا gynomonoecious؛ حيث تتأثر بالعوامل البيئية، فتظهر بعضها أنثوية gynoecious، وقد يصبح بعضها الآخر trimonoecious؛ أى يظهر بها خليط من الأزهار المذكرة، والمؤنثة، والخنثى. ولكن نتائج الدراسات تختلف بشأن حالة الـ trimonoecious ؛ حيث ذكر البعض أن جينين آخرين يتفاعلان مع الجينين a و g لإظهار هذه الحالة.

جدير بالذكر أن النباتات الـ andromonoecious تحمل أزهارًا مذكرة فقط على الساق الرئيسية للنبات، وخليطًا من الأزهار المذكرة والأزهار الخنثى على أفرع النبات. وقد اكتشفت طفرة متنحية تمنع تكوين أية فروع من الساق الرئيسية للنبات، وأعطيت الرمز ab نسبة إلى الصفة abrachiate. وبظهور هذه الطفرة على نبات andromoneocious .. فإنها تحوله — تلقائيًا — إلى نبات مذكر androecious — لأن الساق الرئيسية للنبات لا تحمل سوى أزهار مذكرة فقط.

وقد وجد ارتباط بين شكل الثمرة وحالة الجنس؛ حيث تُنتج الأزهار المؤنثة — غالبًا — ثمارًا كروية، بينما تُنتج الأزهار الكاملة ثمارًا مطاولة أو بيضاوية.

وقد أدى ذلك إلى الاعتقاد بأن الجين a (الخاص بحالة الـ andromonoecious) ذو تأثير متعدد. وقد وجدت حالات شاذة لهذه القاعدة، يعتقد أنها ترجع إلى وجود جينات محورة.

الكوسة

من بين أهم الصفات المؤثرة فى محصول الكوسة كل من طبيعة النمو، وحالة الجنس.

طبيعة النمو

يتحكم فى طبيعة النمو — من حيث كونه قائمًا، أم مفترشًا — جين واحد (يأخذ الرمز Bu) فى كل من *C. pepo* و *C. maxima*، وربما كان هذا الجين فى نفس الموقع الكروموسومى فى النوعين، إلا أن حالة السيادة تختلف بينهما حسب مرحلة النمو النباتى. ففى *C. pepo*.. تسود صفة النمو القائم كليا تقريبًا فى المراحل الأولى للنمو النباتى، إلا أن السيادة تصبح جزئية فقط فى مراحل النمو التالية. أما فى C. maxima.. فإن النمو القائم يكون سائدًا كليًا فى المراحل الأولى للنمو النباتى، ثم يصبح متنحيًا تمامًا فى المراحل التالية للنمو (Whitakter ١٩٧٤). وفضلاً عما تقدم.. فإن فعل هذا الجين يتأثر بجينات أخرى محورة. وقد اكتشف جين آخر متنح فى *C. pepo*، يجعل النبات شديد التقزم Extreme Dwarf.

حالة الجنس

إن معظم أصناف القرع وحيدة الجنس وحيدة المسكن، ولكنها تختلف — كثيرًا — فى نسبة الأزهار المذكرة إلى الأزهار المؤنثة. ويشذ عن ذلك طفرة بسيطة تحمل أزهارًا مذكرة فقط androecious وجدت فى *C. pepo*، ويتحكم فيها جين متنح يأخذ الرمز a، كما وجدت طفرة أنثوية gynoecious فى النوع *C. foetidissima*، إلا أن استحالة تهجينه مع *C. maxima*، و *C. pepo* حالت دون الاستفادة من تلك الصفة فى هذه الأنواع.

الفاصوليا

برغم وجود اختلافات بين أصناف وسلالات الفاصوليا فى معدل عملية البناء الضوئى، وبرغم اعتماد المحصول على معدلات البناء الضوئى.. فلم يمكن أبدًا — فى

الفاصوليا — ملاحظة أى ارتباط وراثى عالٍ بين الصفتين؛ وبذا.. لم يمكن الاستفادة من الاختلافات المشاهدة بين السلالات فى معدل البناء الضوئى فى الانتخاب لتحسين المحصول.

إلا أن كمية المحصول تتوقف على ثلاثة عوامل؛ هى:

١–تأقلم التركيب الوراثى مع الظروف البيئية.

٢–قدرة التركيب الوراثى على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية مخزنة فى صورة غذاء من خلال عملية البناء الضوئى.

٣–قدرة التركيب الوراثى على توزيع نواتج التمثيل الغذائى على مختلف الأعضاء النباتية؛ بنسب يتحقق معها أعلى محصول اقتصادى، مع القدرة على نقل هذا الغذاء إليها أولاً بأول.

ويعتبر المحصول البيولوجى Biological Yield، والنمو البيولوجى الكلى Biomass Growth دليلاً على قدرة التركيب الوراثى على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية فى صورة غذاء مجهز، بينما يعبرٌ دليل الحصاد عن توزيع الغذاء المجهز على الأعضاء الاقتصادية؛ مقارنة ببقية الأنسجة النباتية. ويعبر معدل نمو البذور (أو الجزء الاقتصادى من النبات) عن كفاءة التركيب الوراثى فى نقل الغذاء المجهز. كما يمكن إيجاد مقياس آخر هو معدل النمو الاقتصادى؛ ليكون دليلاً على العلاقة بين المحصول وفترة النمو النباتى.

وبرغم أن درجات التوريث — التى قدرها مختلف الباحثين لمحصول الفاصوليا — منخفضة للغاية، إلا أن درجات التوريث التى قدرت لبعض الصفات المرتبطة بالمحصول (مثل دليل الحصاد، ومعدل النمو البيولوجى الكلى، ومعدل نمو البذور) كانت مرتفعة بدرجة ملموسة. ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع.. يراجع Scully وآخرون (١٩٩١).

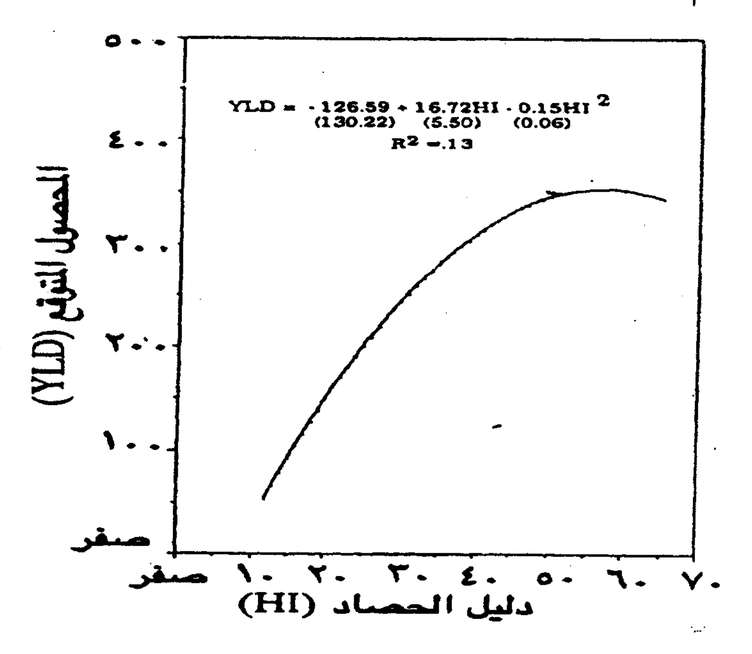
لقد وجدت اختلافات كبيرة فى القدرة على البناء الضوئى بين صنفى الفاصوليا رد كدنى Red Kidney، وميشيليت ٦٢ Michellite 62، وتبين أن معدل تبادل غاز ثانى أكسيد الكربون فى الضوء ومعدل التنفس فى الظلام كان أعلى فى الصنف ميشيليت ٦٢ منه فى الصنف رد كدنى. وبينما كانت نباتات كلا الصنفين ونباتات الجيل الأول بينهما على درجة عالية من التجانس فى كلا الصفتين.. فإن نباتات الجيل الثانى أظهرت اختلافات جوهرية، كذلك ظهرت اختلافات جوهرية فى هاتين الصفتين بين سلالات الجيل الثالث، وبين النباتات فى بعض سلالات هذا الجيل. وقد كانت درجة توريث كلتا الصفتين (معدل تبادل غاز ثانى أكسيد الكربون فى الضوء ومعدل التنفس فى الظلام) منخفضة (Wallace وآخرون ١٩٧١).

وقد قيم Scully& Wallace (١٩٩٠) ١١٢ سلالة من الفاصوليا فى ثمانى صفات ذات صلة بالمحصول، ووجدا مدى واسعا من الاختلافات — فيما بينها — كما يلى:

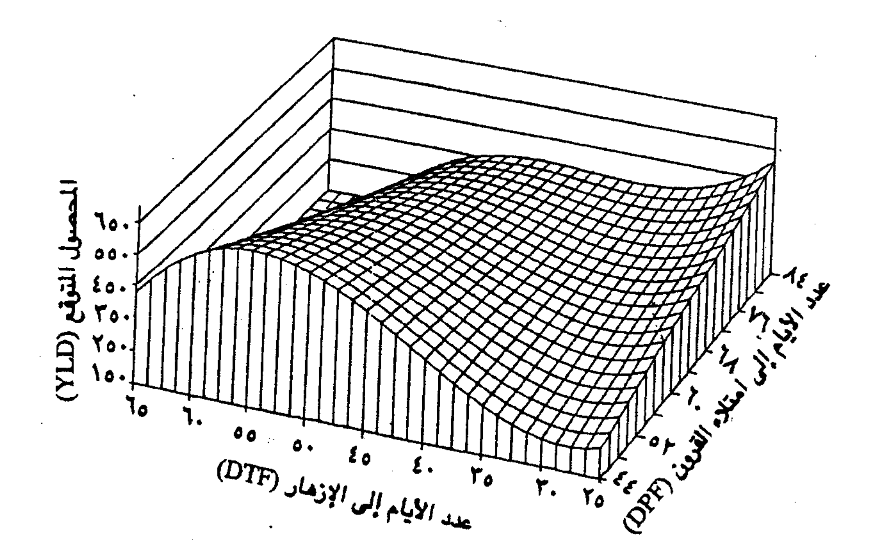
الصفة	المدى
الفترة من الزراعة إلى الإزهار	٢٥ — ٦٦ يومًا
فترة امتلاء القرون	٤٤ — ٨٣ يومًا
الفترة من الزراعة إلى النضج	٧٠ — ١٢٣ يومًا
المحصول الاقتصادى	٨١– ٥٨٧ جم/م^2
المحصول البيولوجى	٢٧٠– ١٠٨٧ جم/م^2
دليل الحصاد	١٢ ٪ — ٦٥٪
معدل تكوين المحصول البيولوجى (المحصول البيولوجى/ عدد الأيام إلى النضج)	٣,٢– ٩,٣ جم/م^2/يوم
معدل تكوين البذور (محصول البذور/ فترة امتلاء القرون)	١,٢– ٩,٥ جم/م^2/يوم
معدل النمو الاقتصادى (محصول البذور/ الفترة من الزراعة إلى النضج)	٠,٦– ٥,٧ جم/م^2/يوم

ولقد وجد ارتباط خطى موجب بين المحصول وكل من: معدلات النمو، والمحصول البيولوجى، وفترة امتلاء القرون، ولكن المحصول البيولوجى ومعدلات النمو كان لها

التأثير الأكبر على التباينات فى المحصول؛ حيث كان معامل ارتباطها (r^2) مع المحصول ٠,٧١ و٠,٨٤، على التوالى. أما فترة امتلاء القرون فلم يكن تأثيرها ذا شأن فى الاختلافات المشاهدة فى المحصول؛ حيث كان الارتباط بين الصفتين ٠,٠٩ وقد كان أعلى محصول- تحت ظروف ولاية نيويورك الأمريكية- عندما كان الإزهار بعد ٤٨,٥ يومًا، والنضج بعد ١٦٢,٢ يومًا من الزراعة، وعندما كان دليل الحصاد ٥٧,٢٪. وتتضح العلاقة بين دليل الحصاد والمحصول المتوقع فى شكل (٦-١)، وبين المحصول المتوقع وكل من عدد الأيام إلى الإزهار، وفترة امتلاء القرون فى شكل (٦-٢).



شكل (٦-١): العلاقة بين دليل الحصاد والمحصول المتوقع فى الفاصوليا



شكل (٦-٢) العلاقة بين المحصول المتوقع وكل من عدد الأيام إلى الإزهار وفترة امتلاء القرون فى الفاصوليا (عن Scylly & Wallace ١٩٩٠)

ويذكر Coyne (١٩٨٠) وجود اختلافات كبيرة بين أصناف الفاصوليا فى استجابتها للفترة الضوئية؛ الأمر الذى يؤثر فى طول الفترة التى تمر بين الزراعة والإثمار؛ وهو ما يؤثر — بالتالى — فى قوة النمو الخضرى للنبات عند الإزهار، وفى عدد العقد التى يمكن أن تتكون عندها الأزهار حال إزهار النبات. وتتأثر تلك الحساسية للفترة الضوئية بدرجة الحرارة.

ففى كولومبيا .. أمكن تأخير إزهار أصناف الفاصوليا الحساسية للفترة الضوئية— تحت ظروف الحقل— بزيادة فترة الإضاءة صناعيا؛ وصاحب ذلك زيادة المحصول بنحو ٥٠٪— ٧٠٪.

كما أن بعض أصناف الفاصوليا تغير طبيعة نموها من غير المحدود الشجيرى indeterminate bush إلى المتسلق climbing بمجرد تعريضها للضوء الأحمر لمدة ١٥

دقيقة فى منتصف فترة الظلام. وأمكن إلغاء هذا التأثير للضوء الأحمر بتعريض النباتات للأشعة تحت الحمراء عقب تعريضها للضوء الأحمر مباشرة. ومن الواضح أن تلك الاستجابة للضوء الأحمر والأشعة تحت الحمراء هى من خلال صبغة الفيتوكروم phytochrome.

وتبين أن الجين الذى يتحكم فى استجابة نباتات الفاصوليا للفترة الضوئية يختلف عن الجين المسئول عن تغير النمو النباتى من غير المحدود الشجيرى إلى المتسلق. ويمكن الاستعانة بالضوء أثناء فترة الظلام لتقييم النباتات للتعرف على مدى ثباتها فى طبيعة النمو.

البطاطا

لا يرتبط محصول البطاطا من الجذور بمعدل البناء الضوئى المقدر لعينة من أوراق النبات، وربما كان مرد ذلك إلى عدة أسباب؛ منها: اختلاف سلالات وأصناف البطاطا كثيرًا فى كثافة نمواتها الخضرية، واختلاف الوضع النسبى لأوراق النبات الواحد؛ الأمر الذى يؤثر فى كفاءتها فى البناء الضوئى تحت الظروف الطبيعية، واختلاف وضع الأوراق المستخدمة فى قياس الصفة — تحت ظروف عملية تقدير معدل البناء الضوئى — عما يكون عليه الحال تحت الظروف الطبيعية فى الحقل. وقد تأكد ذلك من دراسات Bhagsari (١٩٩٠)، والتى أوضحت اختلافات كبيرة جدا بين أصناف وسلالات البطاطا فى معدل البناء الضوئى، إلا أن الاختلافات لم تكن مرتبطة بالمحصول. ومن ناحية أخرى.. كان المحصول — فى هذه الدراسة — مرتبطًا بدرجة عالية وجوهرية بدليل الحصاد Harvest Index [(محصول الجذور/الوزن الكلى للنبات) ×١٠٠]، سواء أكان التقدير على أساس الوزن الطازج (r = ٠,٩١)، أم على أساس الوزن الجاف (r = ٠,٩٥) للجذور.

أما دليل المساحة الورقية Leaf Area Index .. فقد كان أعلى من ٥,٠ — فى معظم السلالات — حتى وقت الحصاد، ولكن ذلك كان على حساب نمو الجذور

الخازنة. وبرغم وجود اختلافات بين السلالات فى دليل المساحة الورقية.. فإن تلك الصفة لم ترتبط — بانتظام — بالمحصول.

وقد درس Bhagsari & Ashley (١٩٩٠) الأساس الفسيولوجى للاختلافات فى المحصول بين ١٥ صنفا وسلالة (تركيب وراثى) من البطاطا، ووجدا ما يلى:

١- اختلفت التراكيب الوراثية — فيما بينها — جوهريا فى دليل مساحة الورقية Leaf Area Index خلال المرحلتين المبكرة والمتأخرة للنمو، ولكن ارتباط تلك الصفة بالمحصول لم يكن ثابتًا.

٢- تراوح صافى البناء الضوئى للورقة الواحدة من ٠,٧٤ إلى ١,١٢ مجم ثانى أكسيد كربون لكل م٢ فى كل ثانية.

٣- تراوح البناء الضوئى للنمو الخضرى — ككل — من ٠,٨١ إلى ١,١٦ مجم ثانى أكسيد كربون/ م٢ /ثانية فى العام الأول للدراسة، ومن ٠,٦٣ — ٠,٨٨ مجم ثانى أكسيد كربون / م٢ / ثانية فى العام الثانى، وكانت تلك التباينات معنوية فى السنة الأولى فقط.

٤- تراوح معدل انتقال الغذاء المجهز من الأوراق — بعد أربع ساعات من معاملتها بالكربون ^{14}C — إلى ٢١٪ إلى ٤٦٪، ولكن هذه التباينات لم تكن معنوية.

٥- تراوح دليل الحصاد من ٤٣٪ إلى ٧٧٪، ومن ٣١٪ إلى ٧٥٪ فى العامين الأول والثانى للدراسة، على التوالى.

٦- كان صافى البناء الضوئى للنمو الخضرى — ككل — فى شهر سبتمبر (قرب نهاية موسم النمو) مرتبطًا معنويًا بالوزن الجاف للجذور (معامل الارتباط r = ٠,٥٤) فى العام الأول للدراسة، وبالمحصول البيولوجى (معامل الارتباط r = ٠,٦٠) فى العام الثانى.

٧-ارتبط كل من دليل الحصاد، والمحصول البيولوجى معنويًا بالمحصول الاقتصادى (محصول الجذور).

وقد توصل الباحثان من دراستهما إلى أن صافى البناء الضوئى للنمو الخضرى — ككل— ربما كان أكثر خلال المراحل المتقدمة من تكوين الجذور (أعضاء التخزين)، وأن صافى البناء الضوئى للورقة الواحدة ليس دليلاً جيدًا على المحصول المتوقع، خاصة عندما تختلف التراكيب الوراثية فى متوسط مساحة الورقة فى كل منها.

ويذكر McLaurin & Kays (١٩٩٣) أن النمو الخضرى للنباتات الزاحفة — مثل البطاطا — لا يتوقف بمجرد وصوله إلى النباتات المجاورة لها، وإنما يستمر النمو الجديد فى نفس المكان الذى يوجد فيه النمو القديم، وتكون أعناق أوراق النموات أطول قليلاً لكى تصل بأنصالها إلى الضوء. ويترتب على ذلك أن تنخفض شدة الإضاءة التى تصل إلى الأوراق القديمة تدريجيا، وتنخفض معها قدرتها على البناء الضوئى، إلى أن تصبح عالة على النبات حينما يزيد ما يفقد منها بالتنفس عما تنتجه بالبناء الضوئى، ويصبح سقوط هذه الأوراق فى صالح النبات وزيادة المحصول. ويتميز بهذه الخاصية صنف البطاطا العالى المحصول Jewel الذى يفقد نحو ٦٠٪ من إجمالى الأوراق التى يكونها طوال الموسم — طبيعيًا — قبل موعد الحصاد.

وبرغم أن نحو ٣٧٪ من المعادن والعناصر التى توجد فى أوراق النبات يتم انتقالها إلى أجزاء نباتية أخرى قبل سقوط الأوراق.. إلا أن فقد الأوراق لا يخلو من خسارة للنبات؛ حيث قدرت كمية المادة الجافة التى تفقد بهذه الكيفية بنحو ٢,٨ طنًا للهكتار. ومع استمرار تساقط الأوراق يزداد الطلب على الأوراق المتبقية (التى تتناقص مساحتها بالنسبة لإجمالى الوزن الجاف للنبات) لإدامة الأجزاء النباتية الأخرى؛ فيزداد ناتج البناء الضوئى الذى يفقد منها لأجل عمليات الإدامة والصيانة.

وقد وجد الباحثان من دراستهما على أربعة أصناف عالية المحصول من البطاطا أنها أسقطت خلال فترة حياتها — ولغير أسباب مرضية أو حشرية — نسبة عالية من أوراقها، وصلت حتى وقت الحصاد إلى ٤٥٪–٦٠٪ من جميع الأوراق التى كونتها. وقد

وجدا ارتباطًا موجبًا عاليًا بين سقوط الأوراق وبين كل من عدد النموات الخضرية، والعقد الساقية/نبات، والوزن الجاف الكلى، والوزن الطازج للجذور، وكذلك وزنها الجاف، والوزن الجاف للنموات الخضرية. وقدرت كمية المادة الجافة التى فقدت جراء سقوط الأوراق من ١,٢ — ٢,٦ طنًا للهكتار.

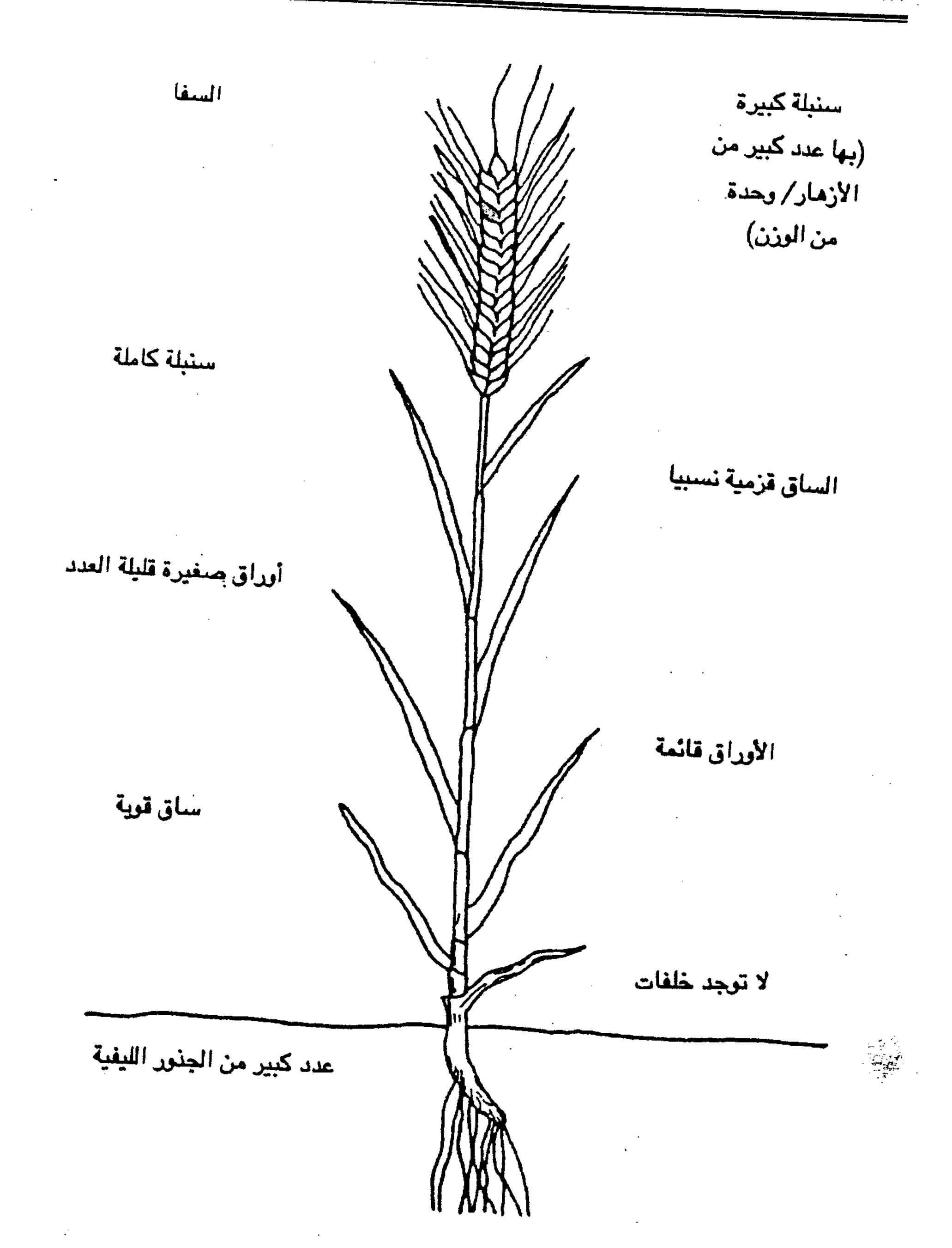
هذا ويذكر Collins وآخرون (١٩٨٧) أن درجات التوريث المقدرة لمكونات المحصول على النطاق العريض تراوحت فى البطاطا من ٠,٧٥ — ٠,٩٢.

التربية لأجل تشكيل النباتات

تركزت معظم الدراسات فى مجال التربية لأجل تشكيل النباتات على محاصيل الحبوب كالقمح والشعير والأرز والذرة، ويتضح ذلك من عرضنا لهذا الموضوع. ويمكن الاستفادة من المبادئ العامة التى نتناولها بالشرح فى هذا الموضوع فى تربية محاصيل الخضر.

مفهوم النبات المثالى

حاول بعض مربى النبات عمل قائمة بالصفات الفسيولوجية والمورفولوجية التى تشكل — فى مجموعها — النبات المثالى (Ideotype) الذى ينبغى أن يكون هدفًا للمربى فى برامج التربية، ومن أمثلة ذلك ال ideotype الذى تم تخيله لنبات القمح (شكل ٦-٣). ولكن.. نظرًا لاختلاف المحاصيل الزراعية كثيرًا فى صفاتها الفسيولوجية والمورفولوجية، ولأن هذه الاختلافات تمثل — فى جوهرها — وسائل تأقلم تلك المحاصيل على الظروف البيئية السائدة فى شتى المناطق التى تتواجد فيها؛ لذا.. يمكن القول بأنه لا يوجد شئ اسمه نبات مثالى (ideotype) فى تربية النباتات، وإنما توجد عدة طرز أو نماذج بيولوجية Biological Types.



شكل (٦-٣) تصميم لنبات مثالى (an ideotype) من القمح (عن Frey ١٩٨١)

هذا.. ويعطى Kalloo (١٩٨٨) قائمة بالجينات التى تتحكم فى صفات النمو الهامة فى عدد من محاصيل الخضر، والتى يمكن الاستعانة بها فى تصور الطرز البيولوجية — المناسبة لكل منها — فى شتى الظروف البيئية.

أهمية طبيعة نمو الغطاء النباتى

إن الغطاء النباتى هو الذى يؤثر — فى نهاية المطاف — فى كمية الغذاء التى يتم تصنيعها لكل وحدة من مساحة الأرض التى يشغلها النبات. ونجد أن الصفات المورفولوجية التى تتحكم فى بناء أو طبيعة نمو هذا الغطاء الأخضر هى — فى غالبيتها — صفات يسهل تقديرها، وتتميز بدرجات توريث عالية.

وترجع أهمية النمو النباتى إلى تأثيرها البالغ فى مقدار الطاقة الشمسية التى يمكن للنبات اكتسابها من خلال عملية البناء الضوئى؛ فالأوراق القائمة Erect تسمح بنفاذ قدر أكبر من الأشعة الشمسية إلى الأوراق السفلى؛ وبذا.. فإن فائدتها تكون كبيرة فى المناطق التى تتميز بارتفاع شدة الإضاءة.

وتعد صفة الأوراق القائمة من الصفات التى تظهر بوضوح فى طور البادرة، بحيث يمكن انتخاب النباتات الحاملة لها فى طور مبكر من النمو.

وفى المقابل.. فإن صفة الأوراق القائمة ربما لا تكون لها فائدة كبيرة فى محاصيل الحبوب التى يعتمد فيها امتلاء الحبوب على الأوراق العليا للنبات؛ مثل القمح والشعير اللذين يعتمد فيهما امتلاء الحبوب على الورقة العليا (flag leaf) والسفا؛ حيث يتم فيهما قدر كبير من عملية البناء الضوئى التى يخزن ناتجها — مباشرة — فى الحبوب، إلا أن السفا الكثيف قد يؤدى — أحيانًا — إلى تظليل الأوراق.

ويعتقد البعض أن صفة الأوراق القائمة لا تظهر أهميتها إلا عندما يكون دليل مساحة الورقة (LAI) حوالى ٤,٠ — ٥,٠، وتزداد أهمية ذلك كلما ازداد النبات طولا (عن Frey ١٩٨١).

وبالمقارنة بالقمح والشعير.. فإن معدل البناء الضوئى منخفض فى نورة الأرز، التى يفضل ألاّ تكون فى موقع يؤدى إلى تظليل الأوراق. وتعد الأوراق التى توجد أسفل ورقة العلم flag leaf فى الأرز أكثر أهمية منها فى القمح والشعير. ولذا.. نجد أن لوضع الورقة والزاوية التى تصنعها مع الساق أهمية كبيرة فى نبات الأرز؛ لتحسين وصول الضوء إلى الأوراق السفلى. وتأكيدًا لذلك.. تتميز أصناف الأرز الحديثة العالية المحصول بالأوراق القصيرة القائمة، والخلفات القائمة.

كذلك نجد أن نورات الذرة ليست عالية الكفاءة فى البناء الضوئى، ولذا.. يفضل أن تكون أوراقه قائمة وتعلو عن مستوى الكيزان.

وقد حققت أصناف القمح والأرز ذات السيقان القصيرة نجاحًا كبيرًا لأسباب أخرى غير المحصول الجيد؛ فهى أكثر مقاومة للرقاد، وتستجيب للتسميد الآزونى بكفاءة عالية دون أن يتداعى نموها النباتى؛ ولذا.. ازداد الاهتمام بانتخاب نباتات الحبوب الصغيرة (مثل القمح، والشعير، والسورجم، والشوفان) القصيرة. وتفضل فى هذا الشأن النباتات القزمية الطويلة tall dwarfs عن النباتات القزمية القصيرة short dwarfs (عن Wilson ١٩٨١)؛ نظرا لارتباط المحصول إيجابيا بطول النبات فى تلك الحدود؛ أى بحيث لا تؤدى زيادة الطول إلى رقاد النباتات (عن Coyne ١٩٨٠). كما أن النباتات القزمية القصيرة تكون قزمية فى نمواتها الخضرية والثمرية على حد سواء، بينما تكون النباتات القزمية الطويلة قزمية فى نمواتها الخضرية، وطبيعية فى نمواتها الثمرية.

كذلك تتوفر اختلافات كبيرة بين كل من الطرز ذات الأوراق القائمة والطرز ذات الأوراق المتدلية flappy — فى كل من القمح والشوفان — من حيث قدرتها على منافسة الحشائش، ولذلك الأمر تأثيره فى المحصول؛ مما يتعين أخذه فى الحسبان عند تقييم تلك الطرز. فمثلاً.. وجد فى أحد المواقع البحثية — التى كوفحت فيها الحشائش باستعمال

المبيدات – (وكان ذلك فى أونتاريو بكندا) أن أحد أصناف القمح ذات الأوراق القائمة والساق القصيرة كان أعلى الأصناف محصولا، بينما كان نفس هذا الصنف فى موقع آخر – لم تستخدم فيه مبيدات الحشائش – أقل الأصناف المقيمة محصولا.

وقد تبين أن نمو الحشائش بين خطوط الزراعة فى حالة الأصناف القصيرة ذات الأوراق القائمة كان أكثر مما فى حالة الأصناف ذات الأوراق المتدلية؛ التى سرعان ما كونت غطاء نباتيًا كثيفًا ساعد على تثبيط نمو الحشائش. ولو لم يؤخذ هذا العامل فى الحسبان لاختلفت التوصيات تماما بشأن هذه الأصناف.

وفى البسلة.. يتوقف المحصول – إلى حد كبير – على طبيعة النمو الخضرى للنبات؛ الأمر الذى دفع مربى النبات إلى محاولة التحكم فى شكل وطبيعة نمو نبات البسلة بالتربية.

تتوفر فى البسلة ثلاث طفرات متنحية فى شكل وطبيعة نمو البسلة؛ وهى: af التى تؤدى إلى تحول الوريقات إلى محاليق، وtl التى تحول المحاليق إلى وريقات، وst التى تجعل الأذينات صغيرة.

وقد قام Wehner & Gritton (١٩٨١) بقارنة ثمانى سلالات ذات أصول وراثية متشابهة تقريبًا near isogenic lines، وتختلف فى واحد أو أكثر من الجينات الثلاثة السابقة.. أى إن هذه السلالات كانت كما يلى: طبيعية تمامًا وطفرية فى af فقط، وطفرية فى st فقط، وطفرية فى af و tl، وطفرية فى af و st (بدون أوراق كلية)، وطفرية فى tl و st وطفرية فى af، وtl، و st (شكل ٦–٤).



شكل (٦-٤): أشكال طفرات النمو الخضرى af و tl و st فى البسلة.

وقد قارن الباحثان هذه السلالات فى موقعين مختلفين لمدة عامين. وكانت نتائجهما كما يلى:

١-انخفض محصول السلالتين af af tl tl st st، و af af Tl Tl st st عن محصول السلالة الطبيعية، بينما تساوى محصول بقية السلالات الطفرية مع محصول السلالة العادية.

٢-ظهر ارتباط جوهرى بين المحصول والمساحة الورقية.

٣-كانت السلالتان af af Tl Tl St St و af af Tl Tl st st أكثر مقاومة للرقاد من السلالة الطبيعية تمامًا.

٤-كان نمو بادرات السلالة af af Tl Tl st st بطيئًا نسبيًا.

٥-تميزت السلالة af af Tl Tl St St (وفيها تتحول الوريقات إلى محاليق، بينما تبقى المحاليق والأذينات على حالها) بتساوى محصولها مع النباتات الطبيعية، بينما اختلفت عنها - كثيرًا - مورفولوجيًا. ومن أهم المزايا التى يحققها هذا الجين (af) ما يلى:

أ- تسهيل عملية الحصاد.

ب- تسهيل جفاف المحصول فى حقول إنتاج البذور الجافة.

ج-تقليل انتشار الإصابات المرضية خاصة فى المناطق الرطبة.

د- تقليل رقاد النباتات.

هذا.. علمًا بأن استخدام هذا التركيب الوراثى فى الزراعة لا تلزم معه زيادة كثافة الزراعة، وذلك خلاف التركيب الوراثى af af Tl Tl st st (الذى يكون خاليًا تمامًا من الأوراق)، الذى يتطلب زيادة كثافة الزراعة لزيادة المحصول فى وحدة المساحة (Hedley & Ambrose ١٩٨١).

وفى دراسة على معدلات النمو فى هذه السلالات.. قارن Pyke & Hedley (١٩٨٣) ثلاث سلالات؛ هى: العادية Af Af Tl Tl St St، ونصف الورقية af af Tl Tl St St، والخالية من الأوراق af af Tl Tl st st، وتبين لهما أن معدل النمو النسبى Relative Growth Rate كان واحدًا فى كل من الطرازين الطبيعى ونصف الورقى، ولكنه كان منخفضًا فى الطراز الخالى من الأوراق.

علاقة النمو النباتى (الجذرى والخضرى) بمقاومة الرقاد

تعد مقاومة الرقاد من أهم الصفات المؤثرة فى المحصول، خاصة فى الحبوب؛ لأن الرقاد يترتب عليه عدم امتلاء الحبوب بصورة جيدة، وعدم التمكن من حصاد النباتات آليا، وزيادة احتمالات إصابة النباتات بالأمراض؛ حيث تكون مكدسة فوق بعضها، وقريبة من سطح التربة.

ومن أهم الصفات التى يتعين توفرها لجعل النباتات أكثر مقاومة للرقاد: قصر الساق، وصلابتها، ومرونتها، وتوفر مجموع جذرى كثيف يثبت النبات فى التربة بصورة جيدة، ومقاومة الأمراض والآفات التى تضعف الساق والجذور.

وقد وجد Stoffella & Khan (١٩٨٦) علاقة طردية بين حجم النمو الجذرى والقوة اللازمة لانتزاع النباتات من التربة، وكذلك بين تلك القوة ومقاومة النباتات للرقاد فى عدد من محاصيل الخضر؛ مثل: الذرة السكرية، والفلفل، والفاصوليا.

وترتبط مقاومة الرقاد فى الذرة السكرية بوجود سلاميات قاعدية قصيرة، مع عدد كبير من الجذور الدعامية prop roots.

النباتات القزمية

كان جريجور مندل أول من كتب عن النباتات القزمية dwarfs، وكان ذلك على البسلة فى عام ١٨٦٦. ومنذ ذلك الحين.. اكتشفت النباتات القزمية وراثيًا فيما لا يقل عن ١٧ عائلة من مغطاة البذور. ومن بين أهم النباتات الزراعية — غير البسلة — التى

تعرف فيها طفرات قزمية: القمح، والأرز، والشعير، والسورجم، والطماطم، والخيار، والكوسة، والبطيخ.

وقد أصبحت لنباتات القمح والأرز القزمية أهمية كبيرة فى الزراعة منذ أواخر الستينيات، وهى تعرف باسم "شبه القزمية" semi–dwarfs؛ تمييزًا لها عن النباتات القزمية فى كل من النموات الخضرية والثمرية؛ نظرًا لأن النموات الثمرية لهذه النباتات شبه القزمية لا تكون أقل حجما مما فى النباتات الطبيعية.

وترجع صفة التقزم فى الأصناف التجارية الهامة من القمح والأرز — وغيرهما من النباتات الزراعية الهامة — إلى قصر سلاميات الساق؛ بسبب احتوائها على عدد أقل من الخلايا/سلامية.

وتتميز النباتات القزمية — مقارنة بقريناتها من النباتات العادية — بما يلى:

١- تُعد أكثر صلاحية للحصاد الآلى.

٢- تصل إلى أعضائها التكاثرية (البذور أو الثمار) نسبة أعلى من العناصر الغذائية الممتصة من التربة.

٣-يزداد فيها دليل الحصاد.

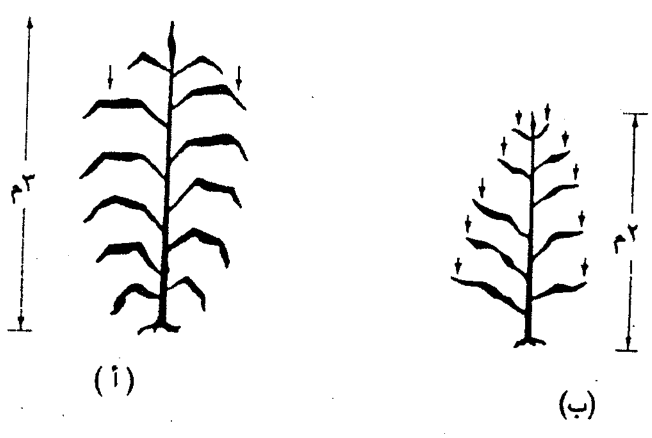
٤-تكون أكثر محصولا بالنسبة لوحدة المساحة من الأرض تحت الكثافة الزراعية العالية والتسميد الجيد (عن Hansche & Beres ١٩٨٠).

وفى الفاكهة.. كان أول اكتشاف للطفرات القزمية فى الخوخ عام ١٨٥٧، وهى تعرف حاليا فى عدد كبير من أنواع الفاكهة والنقل، ومن السهل اكتشافها. وبطبيعة الحال.. فإن ما يهم المربى من هذه الطفرات تلك التى تُحدث تقزما بالنمو الخضرى دون أن يكون لها تأثير فى النمو الثمرى (Lapins ١٩٧٦).

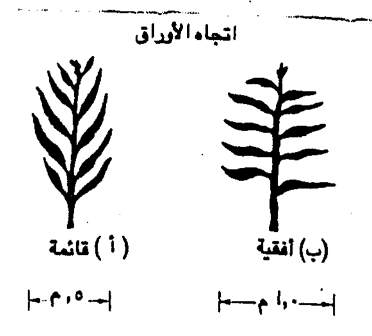
تشكيل النباتات (معمارها، أو هندستها)

بعد أن قدمنا لمفهوم النبات المثالى وتأثير طبيعة النمو النباتى فى المحصول ننتقل الآن إلى استعراض ما يفكر فيه مربى النباتات بشأن تشكيل النبات أو معماره أو هندسته — وهو ما

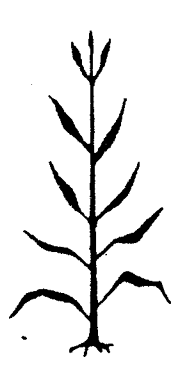
يعرف فى الإنجليزية باسم Plant Architecture – بهدف زيادة المحصول، سواء أتحقق ذلك من خلال زيادة محصول النبات الواحد، أم زيادة المحصول من وحدة المساحة من الأرض. ومن أمثلة هذه الطرز التشكيلية – أو المعمارية – تلك المبينة فى أشكال (٦-٥، و٦-٦، و٦-٧).



شكل (٦-٥) طرازان للنمو النباتى؛ أحدهما قوى ذو أوراق عريضة متدلية (أ)، والآخر صغير ذو أوراق قليلة، ويشبه – فى نموه – شجرة عيد الميلاد (ب).



شكل (٦-٦): طرازان للنمو النباتى؛ أحدهما ذو أوراق قائمة (أ)، والآخر ذو أوراق أفقية تنتشر جانبيًا (ب).



شكل (٦–٧): طراز النمو للنبات النموذجى **Ideal Plant**.

ففى شكل (٦–٥) يظهر طرازان من النمو النباتى: (أ)، و(ب). يتميز الطراز (أ) بالنمو القوى، والأوراق العريضة المتدلية المنتشرة جانبيًّا. ومثل هذه النباتات تنافس الحشائش بصورة جيدة، علمًا بأن ذلك ليس له أهمية فى الدول التى تُستخدم فيها مبيدات الحشائش بشكل روتينى. أما الطراز (ب).. فإنه يتميز بنمو خضرى صغير نسبيًّا، وبأوراق قائمة تسمح بتخلل قدر أكبر من الضوء إلى الأوراق السفلى، التى تكون — بالتالى — نشطة فى عملية البناء الضوئى؛ الأمر الذى قد يؤدى إلى زيادة الكفاءة التمثلية للنبات ككل. ونظرًا لقلة عدد الأوراق فى الطراز (ب) مقارنة بالطراز (أ).. فإنه — أى الطراز (ب) — قد ينمو خضريًّا لفترة أقل، وقد يعطى محصولاً أعلى؛ بسبب زيادة استقبال أوراقه للضوء، ولأنه يزرع منه عدد أكبر من النباتات فى وحدة المساحة من الأرض، بالإضافة إلى تميزه بفترة ممتدة لامتلاء الحبوب (أو الثمار عموما).

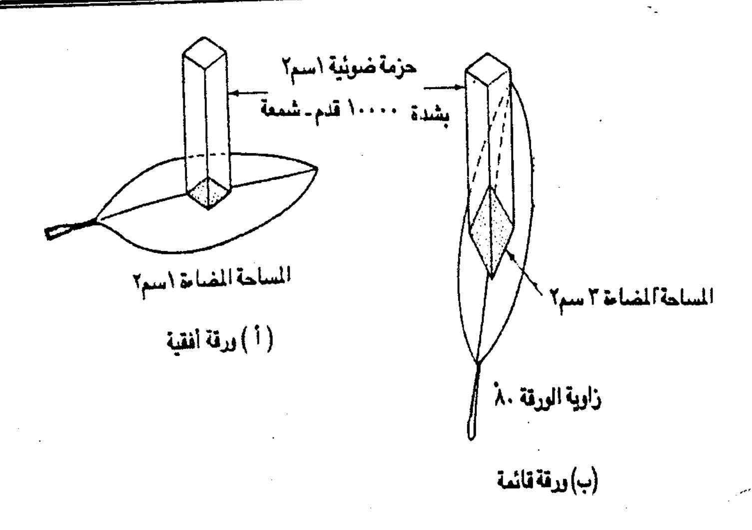
ويبين شكل (٦–٦) طرازين لتوجه الأوراق: (أ) نبات ذو أوراق قائمة، وهو يتطلب — غالبًا — مساحة أقل من الأرض، وتلزم معه زيادة كثافة الزراعة، و(ب) نبات ذو أوراق ممتدة أفقيا لمسافة أكبر مما فى (أ). وإذا زرع كلاهما على نفس الكثافة، فإن الطراز (أ) ذا الأوراق القائمة يكون أكفأ من (ب) فى "حصاد" أشعة الشمس والاستفادة منها.

أما شكل (٦-٧)، فإنه يبين طراز النبات النموذجى ideal plan، الذى يتميز بما يلى: الأوراق العليا قائمة النمو وتتجه إلى أعلى، والأوراق السفلى تميل تدريجيًّا إلى النمو الأفقى، ولكنها قصيرة نسبيًّا، والنبات نفسه يحتوى على عشر أوراق فقط، وقصير نسبيًّا، وذو فترة نمو خضرى قصيرة، وفترة إثمار طويلة. ويكون هذا الطراز مناسبًا للزراعة بكثافة عالية فى خطوط ضيقة.

مما تقدم بيانه يتضح أن الأوراق القائمة المتجهة إلى أعلى مفضلة على الأوراق الأفقية الممتدة أفقيًّا، ولعل السبب الرئيسى وراء ذلك هو استقبال الطراز الأول للضوء بصورة أفضل؛ وبذا.. تزيد كفاءة النبات فى الاستفادة من الضوء الساقط عليه فى عملية البناء الضوئى.

فنجد أن شدة الضوء الذى تستقبله الأوراق عند الظهيرة فى يوم مشرق تتراوح من ١٠٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠ قدم-شمعة، ولا يمكن لأوراق معظم الأنواع النباتية "حصاد" كل هذه الطاقة؛ بسبب زيادة شدة الإضاءة كثيرًا عما يلزم لوصول عملية البناء الضوئى إلى أقصى معدلاتها؛ لأن ذلك يحدث عند شدة إضاءة تتراوح من ٢٠٠٠ - ٣٠٠٠ قدم-شمعة، وهى شدة الإضاءة التى تعرف باسم التشبع الضوئى Light saturation. ولكن مع نشر الضوء الساقط على مساحة ورقية أكبر.. فإن شدة الإضاءة التى تستقبلها كل ورقة تكون أقل، وتزيد معها كفاءة النبات فى "حصاد" تلك الطاقة فى البناء الضوئى.

دعنا نتخيل سقوط حزمة ضوئية رأسية تبلغ شدتها ١٠٠٠٠ قدم-شمعة على ورقة أفقية (شكل ٦-٨). افترض بعد ذلك أن الورقة اتجهت تدريجيا إلى النمو القائم إلى أعلى. إن المحصلة الحتمية لهذا التغير فى وضع الورقة هو زيادة مساحة الجزء من الورقة المستقبل لحزمة الضوء. وعند ٨٠° - من الوضع الأفقى - نجد أن شدة الضوء (الذى يكون موزعًا على مساحة كبيرة من الورقة) تنخفض إلى مستوى التشبع الضوئى.



شكل (٦-٨) المساحة الورقية التى تستقبل حزمة من الضوء الساقط عليها رأسيًا فى كل من الأوراق الأفقية (أ)، والقائمة إلى أعلى (ب).

ويمكن حساب المساحة الورقية التى تستقبل الحزمة الضوئية فى الورقة القائمة هكذا:

$$\text{المساحة} = \frac{1}{\text{جيب تمام Cosine الزاوية}} = \frac{1}{\text{جيب تمتم } 80^\circ} = 3 \text{ سم}^2$$

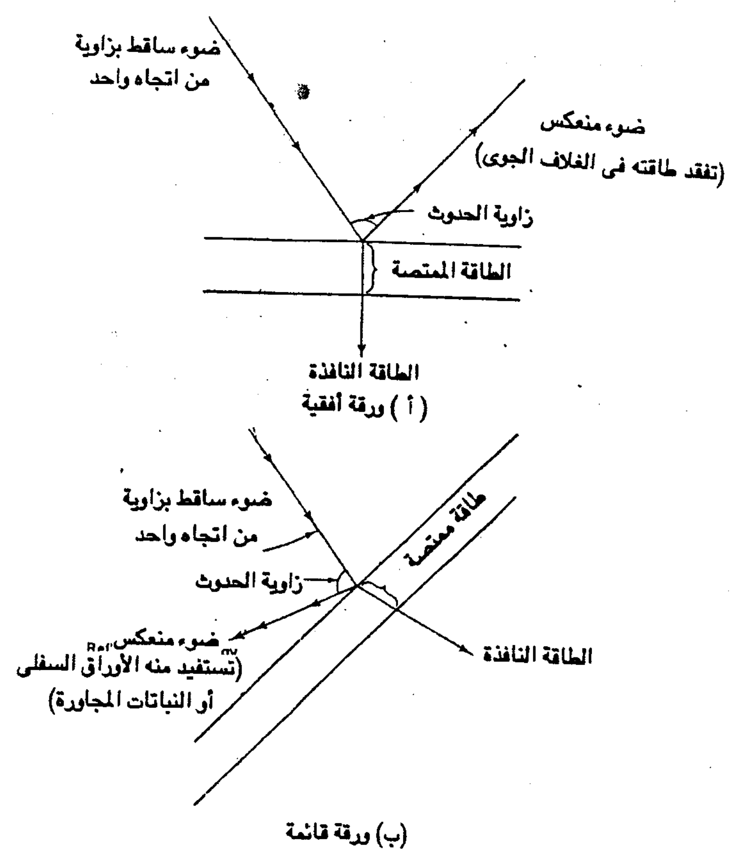
وتكون شدة الإضاءة التى تستقبلها تلك المساحة $= \frac{10000}{3} = 3300$ قدم-شمعة/سم^2.

هذا.. إلا أنه لا يطبق التحليل السابق بيانه - مباشرة - تحت كل الظروف الحقلية.. فبرغم أن أشعة الشمس تأتى دائمًا من اتجاه الشمس (أى من اتجاه واحد فى أية لحظة)، إلا أن السحب تشتت الضوء إلى درجة أنه يصل إلى النبات من جميع الاتجاهات بدرجات متساوية تقريبًا. كما أن بعض النباتات توجه أوراقها فى مقابل الشمس، وهى الظاهرة التى تعرف باسم الانتحاء الضوئى Phototropism.

هذا.. وتبلغ كفاءة النبات - ككل - فى عملية البناء الضوئى أقصى معدلاتها فى شدة إضاءة ٨٠٠ قدم-شمعة. وبرغم أن معدل البناء الضوئى للورقة الواحدة يكون - فى هذه الحالة - منخفضًا، إلا أن العشيرة النباتية تكون استفادتها أفضل من كل الضوء الساقط، وتزداد

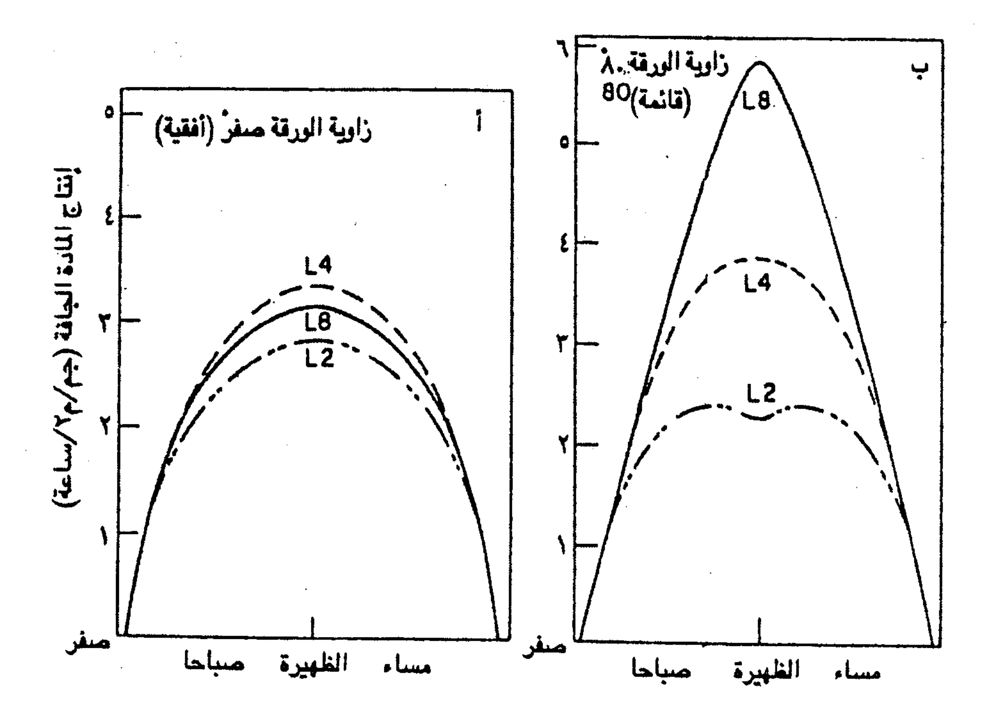
استفادة العشيرة من هذا الضوء إذا كانت الأوراق قائمة. ولكن استمرار انخفاض شدة الإضاءة عن ذلك يكون مصاحبًا بنقص فى معدل البناء الضوئى، إلى أن يتساوى معدل البناء مع معدل الهدم بالتنفس عند شدة إضاءة ٣٠٠ قدم–شمعة، وهى ما تعرف بنقطة التعادل أو التكافؤ الضوئى Light Compensation Point، ودونها تصبح الكفاءة التمثيلية سالبة القيمة.

ويبين شكل (٦-٩) مصير الأشعة الضوئية الساقطة بزاوية (حوالى ٤٥°) على ورقة أفقية (أ)، وأخرى قائمة إلى أعلى (ب)، والذى يتضح منه أن الضوء المعكوس من سطح الورقية يفقد فى الفضاء فى حالة الورقة الأفقية، بينما يتجه نحو الأوراق السفلى — التى تستفيد بدورها منه — فى حالة الورقة القائمة إلى أعلى.



شكل (٦-٩): مصير الأشعة الضوئية الساقطة بزاوية (حوالى ٤٥°) على ورقة أفقية (أ)، وأخرى قائمة إلى أعلى (ب).

وقد استُخدم الحاسوب فى تقييم مدى أهمية الأوراق القائمة للنبات، وتبين أن الأوراق التى تكون بزاوية مقدارها ٨٠° ترتبط — فى المناطق الباردة — بمحصول أعلى عن الأوراق التى تكون بزوايا أقل. وتظهر الاختلافات النظرية فى البناء الضوئى (معبرًا عنها بكمية المادة الجافة المنتجة بالجرام/م٢ من الأرض /ساعة) للأوراق الأفقية تمامًا (صفر°)، وللأوراق المائلة على الوضع الأفقى بزاوية مقدارها ٨٠° — عندما يكون دليل مساحة الورقة ٢,٠، أو ٤,٠، أو ٨,٠ — تظهر الاختلافات النظرية بين هذه الحالات فى شكل (٦-١٠) ويبدو من الشكل أن أهمية الأوراق القائمة تكون واضحة جلية عندما تكون شدة الضوء أعلى ما يمكن وقت الظهيرة.



شكل (٦-١٠): القيم النظرية (المحسوبة بالحاسوب) لتراكم المادة الجافة فى نبات الذرة عند اختلاف زاوية ميل الورقة، ودليل مساحة الورقة (L)، والوقت من النهار فى المناطق الباردة.

وفى دراسات لاحقة لذلك.. تبين أن أعلى معدل للبناء الضوئى يكون فى النباتات التى تتميز بأوراق علوية قائمة لأعلى، بينما تميل أوراقها التالية تدريجيًا إلى الوضع الأفقى، ولا يكون للأوراق القائمة أهمية تذكر إلا عندما يزيد دليل مساحة الورقة على ٢,٠؛ ذلك لأن زيادة دليل مساحة الورقة تعنى ضرورة أن تكون الأوراق قائمة، ليمكن لكمية أكبر من الضوء النفاذ إلى الأوراق السفلى. كما أن هذه الدراسة أوضحت زيادة أهمية صفة الأوراق القائمة فى المناطق الاستوائية؛ نظرًا لزيادة شدة الإضاءة — فى تلك المناطق بكثير — عما يلزم الأوراق لكى تصل إلى أقصى معدلات البناء الضوئى ، مقارنة بالمناطق الشمالية.

وتؤكد عدة دراسات عملية أن الأوراق القائمة تؤدى إلى زيادة المحصول (كما فى الذرة، والشعير، وبنجر السكر)، وزيادة شدة الإضاءة التى تصل إلى الأوراق السفلى.

هذا.. إلا أن جهود التربية التى بُذلت فى هذا المجال لم يترتب عليها نجاح كبير، وربما يرجع ذلك إلى الأسباب التالية:

١–ربما لا تستمر الورقة القائمة إلى أعلى — فى بداية نموها — قائمة طوال فترة حياة النبات. ففى محاصيل الحبوب.. أمكن رصد حالات كانت فيها الأوراق قائمة إلى أعلى بشكل ملحوظ أثناء مرحلة النمو الخضرى، ولكن الأوراق اتخذت وضعًا يميل إلى الوضع الأفقى تدريجيًا مع بداية ظهور السنابل، وهى المرحلة المهمة التى يتم بعدها تكون الحبوب وامتلائها. ومع خروج السنبلة من غلافها.. امتد الجزء العلوى من غمد الورقة جانبيًا، وأجبر ورقة العلم flag leaf على اتخاذ وضع أفقى. ومع تقدم النبات فى العمر.. بدأت الأوراق تتدلى إلى أسفل.

٢–لم تثبت صفة الأوراق القائمة فى كل الظروف البيئية. ويتضح ذلك جليًا فى المستويات المختلفة للتسميد الآزوتى؛ حيث تميل الأوراق القائمة إلى الارتخاء إلى أسفل عند زيادة النيتروجين فى التربة (عن Stoskopf ١٩٨١).

الفصل السابع

تربية الخضر لتحمل الظروف البيئية القاسية

مصادر تحملِ الظروف البيئية القاسية

يمكن العثور على مصادر وراثية لتحمل الظروف البيئية القاسية فى كل مما يلى:

١-الأصناف التجارية المحسنة وسلالات التربية.

٢-الأصناف المحلية أو البلدية، وإن كانت تحتوى — غالبًا — على صفات أخرى غير مرغوب فيها.

٣-الأنواع البرية القريبة من المحصول المنزرع المراد تحسينه:

تتوفر فى كثير من الأحيان مصادر للصفات المرغوب فيها فى الأنواع البرية القريبة من المحصول المنزرع، وهى الأنواع التى تكون قد خضعت للانتخاب الطبيعى المستمر لتحمل الظروف التى تتواجد طبيعيًا فيها. ولكن مدى الاستفادة من تلك الأنواع يتحدد بأمرين، هما:

أ- غالبًا ما تكون قدرة التحمل للظروف البيئية القاسية فى هذه الأنواع مردها إلى صفات لا تكون مطلوبة فى المحصول المراد تحسينه، مثل صفتى العصيرية succulence، والزغبية pubescence.

ب- كثيرًا ما ترتبط الصفات المرغوب فيها بصفات أخرى غير مرغوب فيها، والتى غالبًا ما يصعب التخلص منها خلال مراحل التربية؛ مما يزيد من فرص انتقالها إلى المحصول المنزرع، وهذا ما يعرف باسم linkage drag.

طرق التقييم لتحمل الظروف البيئية القاسية

يتطلب نجاح برامج تربية النباتات أن تكون طرق التقييم المتبعة فيها — لأية صفة كانت — سهلة وسريعة، بحيث يمكن إنجازها فى أقصر وقت ممكن وبأقل جهد، وأقل

تكلفة؛ ذلك لأن المربى يتعين عليه — غالبًا — تقييم مئات — أو آلاف — من النباتات فى كل جيل من أجيال التربية. ويختلف المربى — فى هذا الشأن — عن غيره من الباحثين الذين تكون أعداد معاملاتهم — غالبًا — محدودة، بما يسمح بأن تكون طرق التقييم التى يستخدمونها أكثر استنزافًا للوقت، والجهد، والمال، وربما كانت أكثر دقة.

ومن الطبيعى أن يكون هناك حد أدنى للدقة فى طرق التقييم المستخدمة فى برامج التربية، كما يجب أن تتوفر المرونة فى هذا الشرط؛ ففى بداية برامج التربية — حينما يقوم المربى بتقييم أوّلى لأعداد كبيرة من الأصناف والسلالات التى تتباين كثيرًا فى الصفة موضوع الدراسة — فإن الحد الأدنى للدقة فى التقييم يكفى لتمييز السلالات عن بعضها فى تلك المرحلة. ومع تقدم برنامج التربية.. تقل — تدريجيًا — التباينات المشاهدة، بما يتعين اللجوء إلى طرق للتقييم تكون أكثر دقة؛ ليمكن تمييز النباتات — المختلفة وراثيًا فى الصفات المقيمة — عن بعضها البعض. كذلك تقل — تدريجيًا — أعداد النباتات والسلالات المقيمة مع تقدم التربية؛ الأمر الذى يسمح باتباع طرق أكثر تكلفة.

وغنى عن البيان أن توفر طرق دقيقة قليلة التكلفة — منذ البداية — يغنى عن تغيير طرق تقييم الصفات المرغوب فيها خلال برنامج التربية. وإذا لجأ المربى إلى طرق غير مباشرة للتقييم، كأن يستدل من وجود صفة ما فى النبات على الصفة المرغوب فيها — التى يتطلب ظهورها إجراء اختبارات خاصة — فإنه يتعين وجود ارتباط قوى بين الصفتين، ويتعين تحديد مدى قوة الارتباط إحصائيًا.

ويمكن إيجاز الطرق المتبعة فى التقييم لتحمل الظروف البيئية القاسية فيما يلى:

١- طرق مباشرة

ومن أمثلتها ما يلى:

أ- إجراء التقييم فى حقول تتوفر فيها العوامل البيئية المرغوب فى التقييم لتحملها، خاصة ما يتعلق منها بالعوامل الأرضية، مثل: ملوحة التربة. أو انخفاض أو ارتفاع الـ

pH، أو مستوى العناصر... إلخ. وقد يجرى التقييم فى مناطق صناعية تسودها ملوثات معينة للهواء، أو فى مناطق تتعرض — دائمًا — لانحراف حاد فى درجة الحرارة، سواء أكانت بالارتفاع، أم بالانخفاض.

يفضل فى هذه الحالات إجراء التقييم للصفة المرغوب فيها مباشرة منفردة، أو مع المحصول إن أمكن، ولكن لا يفضل التقييم للمحصول منفردًا؛ لأن ذلك قد يعنى احتمال انتخاب تراكيب وراثية لا لشئ إلاّ لكونها ذات كفاءة إنتاجية عالية.

تتميز هذه الطريقة بكونها عملية وواقعية؛ لأن المنتج النهائى المرغوب فيه — وهو المحصول — يؤخذ فى الحسبان منذ البداية، ولكن يعيبها ما يلى:

(١) استنزافها لكثير من الوقت والجهد، لضرورة بقاء النباتات فى الأرض لحين حصادها.

(٢) ليست دقيقة، وقد تعطى نتائج خاطئة، لأن ارتفاع المحصول قد يرجع إلى عوامل وراثية خاصة بتلك الصفة، ولا علاقة لها بتحمل العوامل البيئية القاسية السائدة.

(٣) لا تفيد فى تمييز التراكيب الوراثية التى تتحمل العوامل البيئية القاسية لأسباب (صفات) مختلفة؛ بينما يكون ذلك مطلوبًا ليتسنى تجميع تلك الصفات فى تركيب وراثى واحد ربما يكون أكثر تحملاً للعوامل البيئية القاسية.

(٤) تكون الاختبارات الحقلية دائمًا عرضة للتقلبات فى العوامل البيئية؛ الأمر الذى ربما لا تتحقق معه سيادة العامل أو العوامل البيئية المرغوب فى التربية لتحملها.

ب- إجراء التقييم فى الصوبات (البيوت المحمية):

تتشابه هذه الطريقة فى مميزاتها مع طريقة التقييم الحقلى السابقة، وتزيد عليها فى إمكانية السيطرة التامة على العوامل البيئية، واستمرار برنامج التربية فى غير المواسم العادية لنمو النباتات.

ج- إجراء التقييم فى المختبرات تحت ظروف متحكم فيها:

تسمح هذه الطريقة بالتقييم لصفات معينة ترتبط بالأساس الفسيولوجى للصفة الظاهرة للمربى؛ أى بصفة تحمل الظروف البيئية القاسية، كما تسمح بتمييز التراكيب الوراثية - التى تتحمل تلك الظروف - لأسباب مختلفة.

٢- طرق غير مباشرة

يجرى التقييم لتحمُّل العامل البيئى المعنى - فى هذه الحالة - بتعريض النباتات لمعاملات خاصة يكون تأثيرها مرتبطًا بمدى حساسية أو تحمل النباتات للانحراف فى هذا العامل البيئى. ولعل من أبرز الأمثلة على ذلك المعاملة بكل من الإثيفون والتظليل.

٣- التقييم من خلال مزارع الأنسجة

يجرى التقييم لتحمل الظروف البيئية القاسية عن طريق مزارع الأنسجة؛ حيث يتم عزل سلالات خلايا Cell Lines قادرة على تحمل تلك الظروف. وقد اتبعت هذه الطريقة بنجاح فى مجالات التربية لتحمل الملوحة والجفاف، والحرارة العالية، والحرارة المنخفضة، ونقص العناصر، والتركيزات العالية من الألومنيوم (الذى يتوفر بتركيزات سامة فى الأراضى التى ينخفض فيها الـ pH كثيرًا).

ويتعين - بعد عزل سلالات الخلايا المرغوب فيها - تهيئة الظروف المناسبة لتميز نباتات كاملة منها؛ليمكن إكثارها جنسيًا أو خضريًا، واختبارها لتحمل الانحراف فى العامل البيئى المعنى تحت الظروف الطبيعية.

ومن أهم مزايا التقييم عن طريق مزارع الأنسجة ما يلى:

أ- إمكانية التحكم فى العوامل البيئية، بما فى ذلك مستوى الانحراف فى العوامل البيئية التى يُرغب فى التربية لتحملها.

ب- تقييم عدد كبير من الخلايا فى ظروف تامة التجانس.

ج- غياب التباينات - فى الصفات المعنية - التى ترجع إلى اختلافات مورفولوجية، أو إلى اختلافات فى مرحلة النمو النباتى؛ لأن التقييم يتم على المستوى الخلوى.

د- إمكان دراسة الأساس الفسيولوجى للصفات المقيمة على المستوى الخلوى.

ولكن التقييم عن طريق مزارع الأنسجة يعيبه ما يلى:

أ- ضرورة توفر التقنيات المناسبة لتميز النباتات بشكل جيد من سلالات الخلايا المنتخبة؛ الأمر الذى لا يتوفر فى جميع الحالات، كما أن قدرة سلالات الخلايا على التميز تنخفض بشدة مع مرور الوقت.

ب- ربما لا تظهر الصفة المعنية فى النباتات الكاملة التى تتميز من سلالات الخلايا المنتخبة.

ج- ربما لا تحتفظ النباتات الكاملة — التى تتميز من سلالات الخلايا المنتخبة — بصفات الصنف الأصلى الذى أنتجت منه؛ بسبب ظهور طفرات — غير مرغوبة — فيها.

د- لا تفيد هذه الطريقة فى الانتخاب للصفات التى تعتمد على وظيفة مركبة لعضو نباتى، أو مجموعة من الأعضاء أو الأنسجة النباتية؛ مثل انتقال العناصر فى الجهاز الوعائى (عن Stavarek & Rains ١٩٨٤).

مشاكل التربية لتحمل الظروف البيئية القاسية

إن من ابرز مشاكل التربية لتحمل الظروف البيئية القاسية، ما يلى:

١- ضرورة تحديد شدة الانحراف فى العامل البيئى التى يُرغب فى تحملها؛ الأمر الذى يصعب تحديده بسبب التباين الشديد فى مدى ذلك الانحراف من منطقة لأخرى.

٢- يكون من الأسهل إجراء الانتخاب لتحمل الظرف البيئى القاسى فى ظروف متحكم فيها، ولكن الأفضل أن تجرى الاختبارات تحت الظروف الطبيعية فى الحقل، فى الوقت الذى يصعب فيه التحكم فى ظروف الحقل.

٣- يرجع تحمل الانحراف فى أى عامل بيئى — عادة — إلى مجموعة من الصفات التى تُعطى معًا — خاصية التحمل؛ ومن ثم لا يمكن الاعتماد على خاصية واحدة فى الانتخاب للتحمل، ولابد من دمج مجموعة الصفات فى دليل انتخاب واحد متكامل؛

الأمر الذى يتطلب جهدًا كبيرًا، وتكلفة عالية، واهتمامًا أكبر من القائمين على برنامج التربية، فضلاً عما يواجه ذلك الدليل الانتخابى المتكامل من مشاكل تنفيذية.

٤-نظرًا لأن كثيرًا من الصفات التى قد تُسهم فى تحمل الظرف البيئى القاسى قد تؤدى إلى خفض المحصول (مثل صفتى التبكير فى النضج وحساسية الثغور)، فإن الأمر قد يتطلب مزيدًا من جهود التربية لتحسين المحصول فى الأصناف المتحملة التى تم إنتاجها.

٥-يلزم الانتخاب للعامل البيئى القاسى تحت ظروف الشدّ، بينما يتعين الانتخاب للمحصول العالى — بالتبادل — فى الظروف الطبيعية.

٦-لا يمكن فى كثير من الأحيان الاعتماد على الأنواع البرية فى التربية بسبب ما تحمله من صفات كثيرة غير مرغوب فيها، والتى قد يكون بعضها مرتبطًا بصفة التحمل (Singh ١٩٩٣).

التربية لتحمل الحرارة المنخفضة

طرق التقييم لتحمل الحرارة المنخفضة

تتنوع الطرق المتبعة فى تقييم النباتات لتحمل الحرارة المنخفضة حسب النوع النباتى، وحسب كون الهدف القدرة على الإنبات، أم النمو، أم العقد فى الحرارة المنخفضة كما يلى:

اختبارات القدرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة

تُجرى اختبارات القدرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة تحت ظروف متحكم فيها ودقيقة فى المختبرات؛ حيث يتم قياس نسبة الإنبات — مباشرة — فى درجات الحرارة المرغوبة، كما يمكن إجراء التقييم تحت ظروف الحقل فى المواسم التى تسودها درجات الحرارة المنخفضة فى المجال المناسب للتقييم، مع تسجيل درجات حرارة التربة من الزراعة إلى حين انتهاء الاختبار. ويكون التقييم الحقلى أكثر واقعية، إلا أنه ربما لا ينجح

بسبب التقلبات الجوية التى قد تؤدى إلى سيادة درجات حرارة شديدة الانخفاض، أو معتدلة — ومناسبة للإنبات — خلال فترة الاختبار.

اختبارات النمو فى الحرارة المنخفضة

يؤدى بقاء نباتات المواسم الدافئة فى درجات الحرارة المنخفضة (من ٢-١٢ °م) لأيام قليلة إلى تعرضها لأضرار البرودة التى يسبق — أو يصاحب — ظهورها تغيرات فسيولوجية؛ أهمها: نقص معدل التنفس والبناء الضوئى، وبطء الحركة الدورانية للسيتوبلازم؛ وحدوث أضرار للأغشية الخلوية يترتب عليها نفاذيتها للماء وتسرب الأملاح من الخلايا. كما تُضار نباتات المواسم المعتدلة والباردة بطريقة مماثلة لدى تعرضها لصقيع أو لحرارة قريبة من الصفر المئوى لفترة طويلة.

ويتطلب تقييم تحمل النباتات للبرودة أن تتوفر وسيلة كمية لتقدير درجة التحمل لا تعتمد على وصف الأضرار المورفولوجية التى تحدثها البرودة؛ حيث يفضل تقدير درجة التحمل أو شدة الحساسية قبل ظهور أية أعراض يمكن مشاهدتها بالعين المجردة؛ وبذا.. يمكن الإسراع فى عملية التقييم، مع تجنب احتمالات فقد الجيرمبلازم أثناء الاختبار.

وتجرى اختبارات التقييم لتحمل الحرارة المنخفضة إما مباشرة بقياس معدل النمو النباتى فى المجال الحرارى المرغوب فيه، وإما بانتخاب سلالات خلايا Cell Lines من مزارع أنسجة تُعرض لحرارة منخفضة، وإما بطرق غير مباشرة تسجل فيها قياسات ترتبط بقدرة النباتات على تحمل البرودة؛ مثل:

١- الضرر الذى يحدث للأغشية الخلوية لدى تعرضها للبرودة، والذى يتمثل فى زيادة نفاذيتها، وتسرب الايونات منها — ومن الأنسجة النباتية بصورة عامة — بمعدلات عالية.

٢- التغيرات الكيميائية التى تحدث فى المواد الكربوهيدراتية، والأحماض الأمينية، والـ ATP.

٣- الزيادة فى الأحماض الدهنية غير المشبعة، خاصة فى حامض اللينولينك Linolenic Acid.

٤- التغيرات التى تحدث فى الكلوروفيل (عن Christiansen ١٩٧٩).

اختبارات القدرة على العقد فى الحرارة المنخفضة

تُجرى اختبارات التقييم لقدرة الثمار على العقد فى الحرارة المنخفضة — عادة — من خلال أحد أربعة محاور:

١-قياس نسبة العقد الطبيعى فى ظروف الجو البارد، الذى تنخفض فيه الحرارة إلى مستوى لا يناسب عقد الثمار.

٢-قياس كمية أو حيوية حبوب اللقاح المنتجة فى الحرارة المنخفضة.

٣-إحداث العقد بحبوب اللقاح التى تتحمل الحرارة المنخفضة بإنتاجها فى حرارة منخفضة، ثم استخدامها فى تلقيح أزهار النباتات المرغوب فيها فى حرارة منخفضة، أو معتدلة.

وتعتمد هذه الطريقة على حقيقتين؛ هما:

أ- لا تضار — عادة — أعضاء التأنيث فى الأزهار عند تعرضها للحرارة المنخفضة بنفس القدر الذى تُضار به أعضاء التذكير.

ب- نجد — حسب قانون هاردى/فينبرج — أن حبوب اللقاح تُنتج بالنسبة العالية q، مقارنة بالنسبة المنخفضة لتواجد النباتات المنتجة لها q^2.. فلو كانت q = ٠,١ فإن q^2 = ٠,٠١.

٤-قياس قدرة الثمار على العقد البكرى فى ظروف الحرارة المنخفضة غير المناسبة للعقد الطبيعى.

القياسات المستخدمة فى تقدير مدى تحمل البرودة

إن من أهم المكونات التى يُقاس بها مدى تحمل النباتات للبرودة، ما يلى:

١-درجة عدم تشبع دهون الأغشية البلازمية:

كلما ازدادت درجة عدم التشبع .كلما انخفضت الحرارة التى تحدث عندها التحولات فى الغشاء البلازمى وقلت الأضرار بالغشاء، وهى تقدر بدرجة التسرب الأيونى. وقد استخدم اختبار التسرب الأيونى فى عديد من اختبارات تحمل البرودة فى أنواع نباتية مختلفة.

هذا إلاّ اختبار التسرب الأيونى من الجدر الثمرية الخارجية pericarp لثمار الطماطم لم يكن دليلاً يمكن الاعتماد عليه لقياس مدى تحمل البرودة (٣ ْم) والأضرار التى تحدث بالأغشية البروتوبلازمية، وذلك عند مقارنة ثلاثة أصناف حساسة (هى: UC 82، وH722، وH9023) بالصنفين المتحملين Trend، و Vedette. فعلى الرغم من زيادة التسرب فى الأصناف الحساسة عما فى الصنفين المتحملين؛ الأمر الذى يرتبط بظهور أضرار البرودة بعد نقل الثمار لحرارة الغرفة (٢٠ ْم)؛ فإن ذلك الارتباط انهار بعد نقل الثمار لحرارة الغرفة. فبينما ازداد التسرب الأيونى جوهريًا فى ٢٠ ْم فى الثمار المضارة قليلاً، فإنه انخفض كثيرًا فى الثمار المضارة بشدة (Coté وآخرون ١٩٩٣).

٢- ضعف حساسية البناء الضوئى لشد البرودة:

يرجع ذلك — جزئيًا — لتحمل إنزيمات معينة للبرودة، وتُقدر بقياس مدى فلورة الكلوروفيل عند ٦٨٥ نانوميتر.

يُعتقد بأن تقدير معدل البناء الضوئى بعد التعرض لشدٍ البرودة يعد وسيلة فعالة للتقييم لتحمل البرودة فى الخيار (Aoki وآخرون ١٩٨٩).

وبينما انخفضت نسبة فلورة الكلوروفيل: F685/F730 فى صنف الفاصوليا الحساس للحرارة المنخفضة Mondragone بانخفاض الحرارة حتى ٤ °م، فإن هذه النسبة ازدادت قليلاً فى صنف البسلة Shuttle المتحمل للحرارة المنخفضة. ويعنى ذلك أن تلك النسبة قد يمكن استخدامها فى التقييم لتحمل الحرارة المنخفضة فى الضوء (DiPaola وآخرون ١٩٩٥).

٣- الـ Plastochron:

وهى الفترة التى تمر بين الوصول إلى مراحل نمو متماثلة للأوراق المتتالية، وقد اقترحت للطماطم.

٤- تراكم الكلوروفيل تحت ظروف شدّ البرودة:

إن تراكم الكلوروفيل يتوقف بفعل توقف تطور تكوين أغشية الـ thylakoids، أو بسبب حدوث عدم توازن فى مسار الـ pyrophyrin. هذا.. ويقل تأثر تراكم الكلوروفيل بالحرارة المنخفضة فى التراكيب الوراثية المتحملة للبرودة مقارنة بتأثر التراكيب الوراثية الحساسة.

٥- قدرة البذور على الإنبات.

٦- قدرة الثمار والبذور على العقد.

٧- خصوبة حبوب اللقاح (Singh ١٩٩٣).

وراثة تحمل البرودة

إن وراثة تحمل البرودة فى النباتات تتباين كثيرًا من نوع نباتى للآخر ومن حالة لأخرى، كما يلى:

١- وجدت عوامل سيتوبلازمية تتحكم فى المقاومة للبرودة فى بعض الحالات، إلاّ أن معظم الدراسات أوضحت أن تلك العوامل دورها ثانوى فى آلية التحمل.

٢- وجدت جينات تكسب النباتات مستويات مختلفة من تحمل البرودة تتباين فيما بين الأنواع وكذلك داخل النوع، وهى الجينات التى استفاد منها مربو النباتات فى جهود التربية.

٣- على الرغم من وجود أمثلة على الفعل الجينى غير الإضافى، فإن تحمل البرودة غالبًا ما يتحكم فيه جينات ذات تأثير إضافى. ومن أبرز الاستثناءات لجينات تحمل البرودة ذات التأثير الإضافى جين (أو جينات) تحمل البرودة السائدة فى القمح التى ترتبط بشدة بكل من جينى الارتباع (Vrn1) والنمو المنبطح prostrate.

٤- قد تلعب التفاعلات بين الجينات غير الآليلية دورًا فى التغير النهائى لجينات تحمل الحرارة المنخفضة التى تُنقل لخلفية وراثية غريبة عنها. والمثال على ذلك التثبيط الذى يحدث لجينات الراى المسئولة عن التحمل الفائق للحرارة المنخفضة، وذلك عند نقلها إلى القمح الرباعى والسداسى.

٥- عُرفت عديدًا من حالات التنحى والسيادة الجزئية والسيادة الفائقة فى وراثة تحمل البرودة (Flower & Limin ٢٠٠٧).

ويتباين نظام توريث تحمل البرودة حسب الصفة التى تتخذ مقياسًا للتحمل، كما يلى:

١- فى الطماطم استخدمت ثلاث صفات لقياس تحمل البرودة فى دراسات وراثة التحمل، كما يلى:

أ- التسرب الأيونى:

كانت القدرة العامة على التآلف GCA أهم من القدرة الخاصة SCA، وصاحب انخفاض التسرب القدرة على النمو فى الحرارة المنخفضة.

ب- إنبات البذور:

تحكم فى القدرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة (١٠°م فى حجرات نمو) جينات ذات تأثير إضافى، مع وجود تأثير أمّى ودرجة توريث عالية قدرت بنحو ٦٩٪.

ج- النمو النباتى:

يتحكم فى النمو النباتى تحت ظروف شدّ البرودة ثلاثة جينات على الأقل.

٢- فى الذرة استخدمت صفتان كما يلى:

أ- إنبات البذور:

تحكم فى القدرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة (تحت ظروف الحقل) جينات ذات تأثير إضافى، مع وجود تأثير أمّى.

ب- تغير لون الأوراق:

تعد هذه الصفة — التى تظهر عند التعرض للحرارة المنخفضة — بسيطة فى وراثتها.

٣- الخيار:

دُرست صفة إنبات البذور فى الحرارة المنخفضة (١٧ °م فى حجرات النمو)، وكان التباين الإضافى فيها هو السائد، ودرجة توريثها عالية.

التربية لتحمل الحرارة العالية

الشد الحرارى

يُعَّرف الشدّ الحرارى غالبًا بالارتفاع فى درجة الحرارة لأكثر من مستوى معين حرج لمدة من الوقت تكفى لإحداث أضرار لا عودة فيها فى نمو النبات وتطوره. وعمومًا.. فإن الارتفاع المؤقت فى الحرارة فى حدود ١٠-١٥ °م فوق حرارة الهواء المحيط يعتبر شدًّا حراريًّا أو صدمة حرارية. هذا إلا أن الشدّ الحرارى هو دالة معقدة لكل من شدة الارتفاع الحرارى، ومدته، ومعدل الزيادة فى درجة الحرارة.

أما تحمل الحرارة فيعرف بأنه قدرة النبات على النمو وإنتاج محصول اقتصادى فى ظروف الحرارة العالية. وبينما يعتقد البعض أن حرارة الليل هى العامل الأساسى

المؤثر، فإن البعض الآخر يعتقد فى تأثير كل من حرارة الليل وحرارة النهار، ويعتقدون أن متوسط درجة الحرارة اليومى هو المقياس، ويعد دليلاً أفضل على استجابة النباتات للحرارة العالية، مع تأثير حرارة النهار بدور ثانوى (Wahid وآخرون ٢٠٠٧).

تأثير التغيرات المناخية (الارتفاع فى حرارة الغلاف الجوى) على الجيرمبلازم البرى فى بيئته الطبيعية

يمثل الجيرمبلازم البرى مصدرًا رئيسيًا لصفات تحمل الظروف البيئية القاسية بالنسبة لمربى النبات، لكن هذا الجيرمبلازم معرض للفقدان بسبب الارتفاع فى حرارة الغلاف الجوى المصاحب للتغيرات المناخية، حيث يستدل من دراسة أجريت على توزيع الفول السودانى البرى فى أمريكا الجنوبية، وأنواع اللوبيا فى أفريقيا، والبطاطا البرية فى أمريكا الوسطى والجنوبية على ما يلى:

١- من المتوقع أن تفقد نصف الأنواع التى شملتها الدراسة مدى انتشارها الطبيعى بحلول منتصف القرن الحادى والعشرين بسبب التغيرات المناخية.

٢- من المتوقع أن تتحرك كل الأنواع إلى ارتفاعات أعلى، كما قد يغير بعضها خطوط العرض التى ينتشر فيها حاليًا.

٣- من المقدر أن تندثر ١٦٪-٢٢٪ من الأنواع التى شملتها الدراسة.

ويبين ذلك مدى الحاجة إلى زيادة الجهد المبذول فى جميع الجيرمبلازم قبل أن يفقد تنوعه الطبيعى.

هذا.. ويتوقع حدوث المخاطر ذاتها على سلالات المزارعين landraces التى تنتشر زراعتها لدى أكثر من بليون مزرعة بدائية توجد على امتداد الكرة الأرضية، حيث يقوم المزارعين فيها بأنفسهم بإكثار التقاوى التى يستخدمونها فى الزراعة من عام لآخر. ومع التغيرات المناخية سوف ينخفض محصول تلك السلالات تدريجيًا؛ الأمر الذى يؤدى بالمزارعين إلى تركهم لها فى نهاية الأمر؛ مما يستدعى سرعة جمعها قبل فقدانها (The

conservation of global genetic resources in the face of climate change, Bellagio Meeting — ٢٠٠٧ — الإنترنت).

تحديات التربية لتحمل الحرارة العالية

أوضحت كثير من الدراسات الوراثية أن معظم حالات تحمل ظروف الشدّ البيئى معقدة، ويتحكم فيها أكثر من جين، وتتأثر بشدة بالتباينات البيئية، وتوجد دائمًا صعوبة تواجه التحمل كميًّا. فنجد أن الانتخاب المباشر تحت ظروف الحقل يؤثر سلبيًّا على مدى دقة المحاولات ومدى قابليتها للتكرار. وغالبًا.. لا يمكن ضمان تكرار ظروف الحرارة العالية فى الدراسات الحقلية. كذلك فإن تحمل الشدّ حقيقة ترتبط بمراحل معينة من النمو، فالتحمل فى أحد مراحل النمو قد لا يرتبط بالتحمل فى مراحل النمو الأخرى. ويعنى ذلك ضرورة تقييم التحمل فى كل مرحلة من مراحل النمو على حدة، ليس فقط لأجل تقييم التحمل وتعرفه، ولكن — كذلك — لأجل تحديد المكونات الوراثية للتحمل فى مختلف مراحل النمو، وتعرف كيفية تداولها. ويفيد التقييم فى البيوت المحمية التى يمكن التحكم فى درجة حرارتها فى التغلب على مشكلتى عدم ضمان استمرار الحرارة المرتفعة، والتحكم الحرارى فى مختلف مراحل النمو، كما أن البيوت المحمية تيسر — كذلك — التحكم فى حرارة الليل.

وغالبًا ما تتطلب التربية لتحمل الحرارة العالية اللجوء إلى الجيرمبلازم البرى الذى يكون محملاً بصفات كثيرة غير مرغوب فيها. ويجب ألا يقتصر الانتخاب على صفة التحمل فقط، وإنما — كذلك — صفة النمو الجيد والإنتاج العالى فى كل الظروف. ولكن يصعب — أحيانًا الجمع بين كل هذه الصفات؛ ففى الطماطم — مثلاً — نجد أن السلالات والأصناف القادرة على العقد فى الحرارة العالية يكون نموها الخضرى ضعيفًا لاتجاهها نحو النمو الزهرى الغزير، وتكون ثمارها صغيرة الحجم بسبب التأثير السلبى للحرارة العالية على إنتاج الأوكسين بالثمار (Wahid ٢٠٠٧).

طرق التقييم لتحمل الحرارة العالية

بيئات التقييم لتحمل الشدّ الحرارى

يمكن إجراء التقييم لتحمل الحرارة العالية فى أى من البيئات التالية :

١- فى الحقول تحت ظروف الطبيعة :

تلك هى ابسط الطرق وأرخصها، إلا أن كفاءتها تعتمد على مدى تكرارية الشدّ الحرارى من سنة لأخرى، وهى لا تناسب الانتخاب لتحمل الحرارة خلال فترة أو مرحلة معينة من تطور النمو النباتى؛ لأن ذلك امر لا يمكن تأمينه، وخاصة أنه يكون مطلوب استمراره على مدى سنوات برنامج التربية. كما أن مختلف التراكيب الوراثية قد تصل إلى تلك المرحلة — التى يتعين الانتخاب عندها فى ظروف الشدّ الحرارى — فى توقيتات مختلفة. وقد يمكن تعليم النباتات التى وصلت إلى المرحلة المناسبة للانتخاب (مثل مرحلة تفتح الأزهار) عند ارتفاع الحرارة، وقصر الانتخاب عليها بعد ذلك.

ومن العيوب الأخرى للتقييم فى الظروف الطبيعية صعوبة فصل تأثير الحرارة العالية عن تأثير الجفاف الذى يسود — غالبًا — فى تلك الظروف.

٢- فى الظروف الحقلية غير الطبيعية :

يتم التحايل على عدم توفر الظروف المناسبة للتقييم بإجرائه فى مواقع معينة تتوفر فيها تلك الظروف، أو فى غير أوقات الزراعة الطبيعية، مثل زراعة القمح صيفًا فى المناطق المعتدلة.

٣- فى البيئات المتحكم فيها :

ويعنى بذلك البيئات التى يمكن التحكم الحرارى فيها، مثل الصوبات وحجرات النمو؛ حيث يمكن تحديد مدى الشدّ الحرارى وموعده (عن Singh ١٩٩٣).

تستخدم البيوت المحمية فى دراسات تحمل الحرارة العالية حيث تكون الحرارة بداخلها – صيفًا – أعلى من حرارة الهواء الخارجى، إلا أن فائدة استخدام البيوت المحمية فى هذا المجال تكون أعظم إن كانت البيوت مزودة بنظام للتحكم فى كل من درجة الحرارة (ليلاً ونهارًا) والفترة الضوئية. وقد استخدمت البيوت المحمية فى عمليات التقييم والانتخاب لتحمل الحرارة العالية فى كل من الطماطم واللوبيا (عن Hall ١٩٩٢).

أما حجرات النمو فإنها غالبًا ما تستخدم لإجراء قياسات فسيولوجية معينة ذات صلة بتحمل الشدِّ الحرارى.

ويتعين فى جميع البيئات السابقة عدم تعريض النباتات لشدٍّ جفافى، وهو الذى يصاحب – عادة – الشدَّ الحرارى، كما يجب توفير رطوبة عالية (طبيعية) فى البيئات المبرمجة بواسطة أجهزة رفع الرطوبة humidifiers فى حجرات النمو، وبأجهزة توليد الضباب أو الرذاذ فى الصوبات.

٤– فى البيئات الصناعية in vitro:

يمكن إجراء بعض الاختبارات لتحمل الحرارة العالية فى أنابيب اختبار، مثل اختبار ثبات الأغشية البلازمية بطريقة التوصل الكهربائى، ومنها أيضًا الانتخاب فى مزارع الأنسجة.

وقد أمكن – على سبيل المثال – انتخاب نباتات قطن مقاومة للحرارة بمعاملة مزارع الكالس بحرارة عالية وصلت إلى ٤٥°م، حيث تجدد نمو النباتات المقاومة من الخلايا التى تحملت المعاملة الحرارية، إلاّ أن كثرة حدوث المظاهر السيتولوجية غير الطبيعية فى تلك النباتات أحدثت خفضًا شديدًا فى خصوبتها (عن Remotti ١٩٩٨).

٥– النمو تحت ظروف الشدِّ الحرارى:

من أهم قياسات النمو الكتلة الحيوية والمحصول، وهما من أهم معايير الانتخاب، ويفضل إجراءهما فى الظروف الطبيعية.

عند إجراء التقييم لتحمل النموات الخضرية للحرارة العالية يجب أن تؤخذ منافسة أعضاء التخزين على الغذاء المجهز فى الحسبان حتى لا تؤثر المنافسة على قوة النمو الخضرى. فمثلاً.. قيم تحمل النموات الخضرية لتحمل الحرارة العالية فى البطاطس فى فترة ضوئية طويلة (١٨ ساعة) غير مهيئة لتكوين الدرنات. وبعد انتخاب السلالات ذات النمو الخضرى القوى فى تلك الظروف فإنها تقيم لتحمل الحرارة العالية فى فترة ضوئية قصيرة تكون مهيئة لتكوين الدرنات (عن Hall ١٩٩٢).

قياسات التقييم لتحمل الشدّ الحرارى

يقيم تحمل الشدّ الحرارى بعدد من القياسات، كما يلى:

١- القدرة على إنبات البذور فى ظروف الشدّ الحرارى:

يفيد هذا الاختبار عند اشتداد الحرارة فى الوقت الطبيعى لزراعة البذور. وتفيد إضافة الشاركول الناعم لسطح التربة للعمل على زيادة درجة حرارتها، ويمكن إجراء التقييم والانتخاب فى المواسم والمواقع الشديدة الحرارة. وقد يمكن إجراء الاختبارات فى ظروف متحكم فيها تُسلط فيها الأشعة تحت الحمراء على سطح التربة لرفع حرارتها. ويمكن كذلك الاستفادة من اختبار البادرات فى التقييم لإنتاج بروتينات الصدمة الحرارية.

٢- استعادة النمو الطبيعى بعد التعرض للشدّ الحرارى:

ويعبر عن استعادة النمو بقياسات المحصول والكتلة الحيوية.. إلخ.

٣- حساسية أطوار النمو التكاثرية:

ومن تلك الأطوار إنتاج الأزهار والقرون والثمار والبذور، وخصوبة حبوب اللقاح (عن Singh ١٩٩٣).

٤- اختبار التسرب الأيونى:

يقدر التسرب الأيونى بقياس الزيادة فى درجة التوصيل الكهربائى، وهو يعد دليلاً

على مدى ثبات الأغشية البلازمية لدى تعرض الأنسجة للحرارة العالية، ويتم القياس بعد تعريض أجزاء من ورقة النبات تؤخذ بثاقبة فلين (leaf discs) للمعاملة الحرارية العالية. ويعد هذا الاختبار سهلاً وسريعًا، وهو يرتبط باستجابة عمليات حيوية نباتية أخرى للحرارة العالية (مثل: مقاومة البروتينات الذائبة والإنزيمات للدنترة، وثبات البناء الضوئى فى الأوراق الكاملة)، وكذلك باستجابة النباتات الكاملة لدرجات الحرارة العالية تحت ظروف الحقل.

وقد استخدم هذا الاختبار — بنجاح — فى تقييم أصناف وسلالات فول الصويا والسورجم للحرارة العالية، حيث أفاد فى التمييز بينها، ولكنه لا يفيد كثيرًا عند الرغبة فى إجراء الانتخاب فى الأجيال الانعزالية؛ لأنه — أى الاختبار — يُجرى على عدة أقراص ورقية leaf discs من عدة نباتات تُمثل العشيرة التى يُراد اختبارها؛ الأمر الذى لا يمكن تحقيقه فى الأجيال الانعزالية التى تمثلها نباتات مفردة (عن Marshall ١٩٨٢).

يعد اختبار التسرب الأيونى electrolyte leakage أحد أسرع الاختبارات لتقييم القدرة على تحمل الحرارة العالية، وفيه تقاس درجة التوصل الكهربائى الناشئة عن التسرب الأيونى من الأنسجة الورقية التى عُرِّضت للحرارة العالية جراء تأثير المعاملة على نفاذية أغشيتها البروتوبلازمية. يتم بموجب هذا الاختبار استقبال الأيونات المتسربة من الأنسجة فى ماءٍ خالٍ من الأيونات deionized water، وتقديرها كميًّا بقياس درجة التوصل الكهربائى للماء. ولقد وجدت علاقة قوية بين درجة ثبات الأغشية البروتوبلازمية — معبرًا عنها باختبار التسرب الأيونى — وبين مدى تحمل الحرارة العالية (عن Ibrahim & Quick ٢٠٠١).

عند إجراء هذا الاختبار تؤخذ أقراص ورقية بقطر ١٢ مم من النباتات التى يُراد قياس مدى تحملها للشدّ الحرارى. ويجب الحرص على أخذ الأقراص من أوراق فى عمر

متقارب. تُغسل الأقراص ٢-٣ مرات فى ماء منزوع الأيونات قبل وضعها فى أنابيب اختبار أو فى قنينات زجاجية. يلزم ١٠ قنينات لكل تركيب وراثى. تغلق القنينات دون إحكام، وتترك ٥ قنينات فى حمام مائى على ٤٢-٤٥ْم لمدة ساعة، بينما تترك الخمس قنينات الأخرى فى حرارة الغرفة (الكنترول). يضاف بعد ذلك ١٠-٢٠ مل من الماء المنزوع الأيونات لكل قنينة، وتغلق جيدًا، ثم تُحضّن على ١٠ْم لمدة ٢٤ ساعة.

تقاس درجة التوصل الكهربائى للماء (الذى سيحتوى على المواد الذائبة التى تتسرب من الأقراص الورقية) بغمس القطب الكهربائى (الإلكترود) فى كل قنينة بعد وصول حرارتها إلى ٢٠ْم. يلى ذلك تعقيم جميع القنينات فى الأوتوكليف لمدة ١٠-١٥ دقيقة، ثم قياس درجة التوصل الكهربائى فيها بعد وصول حرارتها إلى ٢٠ْم.

وتقاس شدة أضرار الحرارة العالية، كما يلى:

$$HI(\%) = \{1-[1-(T_1/T_2)]/[(1-(C_1/C_2)]\} \times 100$$

حيث إن:

HI: أضرار الحرارة العالية.

T_2، T_1: متوسط درجة التوصيل الكهربائى للتركيب الوراثى قبل وبعد التسخين فى الأوتوكليف، على التوالى.

C_2، C_1: متوسط درجة التوصيل الكهربائى لقنينات الكنترول من نفس التركيب الوراثى قبل وبعد التسخين فى الأوتوكليف، على التوالى (Singh ١٩٩٣).

٥- حساسية البناء الضوئى وفلورة الكلورفيل:

يقاس مدى تأثر معدل البناء الضوئى بمعاملة التعريض للحرارة، ويتم تقدير ذلك على الأوراق المفردة - غير المفصولة عن النبات - باستعمال أجهزة خاصة يسهل نقلها واستعمالها فى الحقل (عن Marshall ١٩٨٢).

ويعبر عن تلك الصفة بقياس فلورة الكلورفيل عند ٦٨٥ نانوميتر، وتلك طريقة هامة وإن كان من الصعب إجراءها وتفسير نتائجها.

عندما يكون العامل المحدد للشدّ الحرارى هو التأثير السلبى على عملية البناء الضوئى، يكون من المفضل قياس فلورة الكلورفيل chlorophyll fluorescence كدليل على مدى الضرر الذى يقع على الـ photosystem II. وتتوفر أجهزة حقلية للقياس السريع للنسبة F_V/F_M التى تعد دليلاً على مدى الضرر الحادث بالـ photosystem II. لكن يتعين تقدير مدى الارتباط بين نسبة F_V/F_M وتحمل الحرارة، ومدى جدوى الانتخاب لتحمل الحرارة على أساسها (Hall ٢٠١١).

وقد أظهرت أصناف الخيار الأكثر تحملاً للحرارة مستويات من فلورة الكلورفيل بالأوراق – بعد تعرضها لشدّ حرارى (٣٨–٤٨°م) – أقل مما حدث فى الأصناف الحساسة؛ بما يعنى إمكان استخدام هذا الاختبار فى تعرف التراكيب الوراثية الأكثر حساسية للحرارة العالية (Aoki ١٩٩٠).

كما أجرى تقييم لتسعة تراكيب وراثية من الفاصوليا لتعرف مدى تحملها للحرارة العالية خلال مرحلة الإزهار، وذلك بدراسة التغيرات التى تحدث فى استشعاع الكلوروفيل chlorophyll fluorescence فيها أثناء وبعد التعرض لحرارة ٤٥°م لمدة ساعتين، ثم لحرارة ٢٣°م لمدة ٤ ساعات. ويستدل من الدراسة أن تركيبين وراثيين فقط – هما: السلالة RH26D والصنف Ranit تشابها مع سلالة الكنترول المتحملة للحرارة 83201007 فى عدم إظهارهم لأى تغيرات جوهرية فى شدة استشعاع الكلوروفيل جراء التعرض للحرارة العالية (Stefanov وآخرون ٢٠١١).

٦- اختبار التترازوليم:

يمكن تقدير مستوى الشدّ الحرارى كميًّا بقياس قدرة الميتوكوندريا على اختزال الـ tetrazolium triphenyl chloride (اختصارًا: TTC) بأنزيمات الـ dehydrogenase

التنفسية التى تنشط فيها. يُجرى الاختبار فى القمح – على سبيل المثال – بإخضاع النسيج الورقى لحرارة عالية لفترة محددة، ويلى ذلك تشريب أنسجة الورقة بمحلول مثل الـ TTC تحت تفريغ. ويعد المستوى النسبى لاختزال الـ TTC إلى فورمازان formazan دليلاً كميًّا على حيوية الخلايا، الأمر الذى يتم تقديره بتحليل طيفى spectrophotometric للفورمازان. ويقدِّر هذا الاختبار – مباشرة – نشاط الميتوكوندريا فى إنتقال الإليكترونات.

وقد أمكن عن طريق هذا الاختبار التوصل إلى اختلافات جوهرية بين أصناف القمح فى تحملها للحرارة العالية.

وراثة تحمل الحرارة العالية

تباينت كثيرًا الخصائص التى اتخذت أساسًا لتحمل الحرارة العالية، وتباينت معها وراثة تلك الخصائص فى مختلف المحاصيل، كما يلى:

١- فى الذرة كان الاعتماد على خاصية استعادة الحالة الطبيعية للنبات بعد ٦ ساعات من التعرض لحرارة ٥٢ °م، وكانت تلك الصفة سائدة جزئيًّا.

٢- فى الطماطم كان الاعتماد على عدد من الصفات تحت ظروف الشدِّ الحرارى، كما يلى:

أ- نسبة عقد الثمار: كانت هذه الصفة كمية مع وجود تأثير إضافى للجين ودرجة توريث متوسطة.

ب- عدد الأزهار بالنبات: كانت هذه الصفة كمية وذات درجة توريث عالية، وتحكم فى العدد الكبير من الأزهار جينات متنحية.

ج- عقد البذور: كانت هذه الصفة كمية وكان تأثير السيادة أكثر أهمية، كما ظهر فيها أيضًا التفوق بين الجينات.

د- بزور الميسم: كانت هذه الصفة كمية ويتحكم فيها جينات سائدة جزئيًّا، وكانت الصفة ذات درجة توريث عالية.

٣- فى الفاصوليا اتخذت صفة عدد القرون بالنبات (بعد التعرض لحرارة ٣٨-٤٣°م نهارًا فى صوبة زجاجية، مع شد جفافى) كأساس لتحمل الحرارة، وتحكم فى هذه الصفة ١-٢ جين سائد مع وجود تفوق.

كذلك كانت صفة الثبات الحرارى للأغشية البلازمية كمية وتأثير الجينات إضافى بصورة أساسية، كما وجدت ظاهرة التفوق فى بعض التلقيحات وقدرت درجة التوريث بنحو ٦٠٪ (Singh ١٩٩٣).

٤- فى فول الصويا كان الاعتماد على خاصية الثبات الحرارى للأغشية البلازمية (باتباع طريقة التوصيل الكهربائى)، وكانت الصفة كمية وتأثير الجينات إضافى بصورة أساسية، كما كانت درجة توريث الصفة عالية.

٥- الكرنب الصينى:

أمكن إنتاج صنف من الكرنب الصينى قادر على إنتاج رؤوس مندمجة فى ظروف الحرارة العالية، وتبين أن تلك الصفة يتحكم فيها عامل وراثى واحد متنحٍ.

٦- البطاطس:

أمكن انتخاب سلالات خضرية من البطاطس قادرة على إنتاج محصول عالٍ جدًّا من الدرنات فى ظروف الحرارة العالية. وفى دراسة قيم فيها ٣١٩ سلالة من ٥٩ نوعًا من الجنس *Solanum* المنتجة للدرنات انتخبت ٦ سلالات من ٤ أنواع كانت قادرة على تحمل حرارة بين ٣٠، و ٤٠°م فيما يتعلق بالنموين الخضرى والدرنى.

التربية لتحمل الجفاف

طبيعة تحمل الجفاف فى النباتات

يتعين التمييز بين حالتى تجنب الجفاف وتحمله. فبالنسبة لتجنب الجفاف Drought Avoidance.. نجد أنه يحدث إما من خلال الإفلات منه Drough Escape،

وإما من خلال "خصائص النباتات الصحراوية" Xerophytic Characteristics التى اكتسبتها أثناء تطورها فى بيئتها الصحراوية.

ويحدث الإفلات من ظروف الجفاف بأن تنبت بذور النبات عقب المطر الغزير، ثم تكمل النباتات نموها الخضرى — الذى يكون غالبًا محدودًا جدًّا — وتزهر وتثمر فى فترة لا تتجاوز ٤–٦ أسابيع؛ وبذا.. تستفيد النباتات من الرطوبة المحدودة الموجودة فى التربة، وتكمل دورة حياتها قبل أن تتعرض لظروف الجفاف، ويشاهد ذلك كثيرًا فى المناطق الصحراوية. كذلك يمكن أن يحدث الإفلات من الجفاف فى بعض أصناف المحاصيل الزراعية التى تنضج وتعطى محصولها الاقتصادى مبكرًا قبل حلول موسم الجفاف (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤). ويعيب النباتات التى تتجنب ظروف نقص الرطوبة الأرضية وتفلت منها تمامًا أنها لا تتحمل ظروف نقص الرطوبة الأرضية إذا تعرضت لها (عن Stevens ١٩٨١).

ومن الخصائص الأخرى الهامة للنباتات الصحراوية — التى تمكنها من تجنب الجفاف — تكوين طبقة سميكة من الشمع على مختلف الأسطح النباتية تمكنها من خفض معدل النتح إلى أدنى مستوى ممكن، وقلة عدد الثغور بالأوراق، وكبر الفجوات العصارية، مع تراكم المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم، وتشعب المجموع الجذرى (عن Quisenberry ١٩٧٩). وجميع هذه الصفات مكتسبة فى النباتات الصحراوية ومثبتة Fixed فيها؛ بمعنى أنه لا تتوفر — فى النوع الواحد منها — تباينات فى تلك الصفات.

وبالمقارنة بالنباتات الصحراوية.. فإن النباتات العادية هى التى تتوفر فى بعض أنواعها تباينات فى الصفات التى تجعل بعض سلالاتها أو أصنافها أكثر — أو أقل — تحملاً لظروف الجفاف من غيرها. ويستفاد من هذه التباينات فى تربية أصناف تجارية أكثر تحملاً لظروف الجفاف، وفى دراسة وراثة تلك الصفات. ويفضل دائمًا أن تجمع

النباتات المرباة (بهدف زراعتها فى المناطق التى تتعرض لنقص فى الرطوبة الأرضية) بين صفتى القدرة على تجنب ظروف الجفاف، وتحمل تلك الظروف فى آن واحد.

ويمكن للنباتات أن تحد من فقد الماء بأى من المظاهر التالية:

١- زيادة طبقة الشمع على أديم البشرة (كما فى أصناف السورجم المتحملة للجفاف)، بما يؤدى إلى خفض النتح الأديمى الذى لا يستفيد منه النبات قدر استفادته من النتح الثغرى الذى تبقى معه الثغور مفتوحة، ويستمر — تبعًا لذلك — تبادل الغازات وتثبيت ثانى أكسيد الكربون. ويلاحظ أن بقاء الثغور مفتوحة ليلاً يزداد معه فقد الماء بالنتح دون أن يستفيد النبات من ذلك.

٢- سرعة جفاف وموت الأوراق تفيد فى تقليل معاناة النبات من نقص الرطوبة، علمًا بأن ذلك الأمر يبدأ بالأوراق السفلى (الأقل إسهامًا فى البناء الضوئى) ثم يتجه تدريجيًّا نحو الأوراق العليا الأكثر نشاطًا.

٣- التعديل الأسموزى، وهو الذى يفيد فى المحافظة على امتلاء الخلايا حتى مع نقص محتوى الرطوبة بالأوراق بما يُبقى على الثغور مفتوحة فى ظروف الشد الرطوبى، كما أنه يزيد من قدرة الجذور على امتصاص الماء (Blum ٢٠٠٩).

ومن أهم الخصائص التى تؤثر فى قدرة النبات على تحمل نقص الرطوبة الأرضية فى المحاصيل الزراعية ما يلى:

قدرة البذور على الإنبات فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية

يُعتقد بأن قدرة البذور على الإنبات فى ظروف الجفاف (نسبة الإنبات وسرعته) ترتبط بمدى قدرة النباتات الأكبر على تحمل تلك الظروف.

وقد اختلف الباحثون بشأن الارتباط بين صفة القدرة على الإنبات تحت ظروف الجفاف، وتحمل النباتات لتلك الظروف فى مراحل النمو اللاحقة. ويسود الاعتقاد بأن

هذا الارتباط ضعيف أو غير موجود، وخاصة أن بذور بعض النباتات — مثل القمح — تُبدى قدرًا كبيرًا من التحمل لظروف الجفاف إلى أن يكتمل إنباتها، ولكن بادراتها تكون شديدة الحساسية لنقص الرطوبة الأرضية بمجرد بزوغها من التربة.

قدرة البادرات على النمو فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية

وجد فى الذرة ارتباط كبير بين قدرة البادرات على النمو فى ظروف الجفاف وقدرة النباتات البالغة على تحمل تلك الظروف. ويمكن الاعتماد على اختبار البادرات فى تقييم آلاف النباتات فى الأجيال الانعزالية، ثم انتخاب المتميزة منها لاستمرار اختبارها فى المراحل المتقدمة من نموها. ونظرًا لصعوبة توفير مستوى منخفض ثابت من الرطوبة الأرضية فى اختبارات البادرات.. يفضل إجراء التقييم فى مزارع مائية، مع إضافة أحد المركبات التى ترفع الضغط الأسموزى للمحاليل المغذية؛ مثل الـ PEG بالتركيز المناسب؛ ليضعف من قدرة النباتات على امتصاص الرطوبة إلى المستوى الذى يحاكى ما يحدث فى الطبيعة فى ظروف الجفاف (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤).

كذلك تعد قوة النمو المبكرة من الصفات الهمة فى تحمل الجفاف؛ نظرًا لأنها تساعد على سرعة توفير غطاء نباتى على سطح التربة؛ مما يقلل كثيرًا من التبخر السطحى.

النمو الجذرى الكثيف المتعمق

تستطيع النباتات ذات النمو الجذرى الكبير المتعمق والكثير التفريع فى التربة أن تمتص الماء من أعماق كبيرة من التربة؛ الأمر الذى يؤخر احتمالات جفاف أنسجتها، بينما تفيد الجذور السطحية الكثيفة فى الاستفادة من زخات المطر الخفيفة. وتوجد اختلافات وراثية كبيرة — داخل النوع النباتى الواحد — فى كثافة النمو الجذرى، وفى نسبة الجذور إلى النموات الخضرية، علمًا بأن تلك النسبة تتغير — فى النبات الواحد — بتغير مرحلة نموه. ويكون النمو الجذرى الكثيف — دائمًا — على حساب النمو الخضرى؛ لأن الجذور تحصل على الغذاء اللازم لنموها من النموات القمية التى تقوم بعملية البناء الضوئى.

وتتأثر نسبة الجذور إلى النموات الخضرية بعوامل أخرى لا دخل للجذور فيها؛ مثل سقوط أوراق الأشجار ذات الأوراق المتساقطة، ونقص المساحة الكلية للأوراق، وهو ما يعد أحد أهم أسباب تحمل النباتات الصحراوية البقاء تحت ظروف الجفاف، إلا أن نقص المساحة الورقية الكلية يصاحبه نقص فى قدرة النبات على البناء الضوئى (عن Quisenberry ١٩٧٩، Parsons ١٩٧٩). ولا توجد أدلة على توفر اختلافات فى صفة سقوط الأوراق داخل النوع النباتى الواحد. وقد تأيدت العلاقة بين النمو الجذرى الكثيف وتحمل ظروف الجفاف فى كل من الأرز الـ upland، والسورجم، وفول الصويا.

ونظرًا لصعوبة قياس كثافة النمو الجذرى — فضلاً على تأثره الشديد بالظروف البيئية — فإنه لا يمكن الاعتماد على تلك الصفة عند الانتخاب لتحمل ظروف الجفاف. ومع ذلك.. فقد وجد فى محصول الأرز والذرة أن الانتخاب لصفة المحتوى المائى الجيد للأوراق — تحت ظروف الجفاف — يعنى — تلقائيًا — تحسنًا فى النمو الجذرى للنباتات المنتخبة (عن Blum ١٩٨٩).

صغر الزاوية التى تصنعها الورقة مع الساق

تتميز بعض النباتات بقدرتها على تحريك أوراقها بحيث تبقى دائمًا موازية لأشعة الشمس؛ الأمر الذى يقلل بشدة من الطاقة الإشعاعية التى تكتسبها الأوراق، والتى تؤدى — فى حالة اكتسابها — إلى فقدان الرطوبة من الأوراق؛ وبذا.. فإن حركة الأوراق هذه تعد إحدى وسائل تحمل النباتات للجفاف، وهى تعرف فى بعض أصناف الفاصوليا تحت ظروف الجفاف، وفى فاصوليا تبارى التى تعد من الأنواع التى تتحمل الجفاف.

زيادة سمك أديم الورقة وزيادة كثافة شعيراتها

يعمل الأديم الشمعى (الذى يترسب فيه الشمع) السميك على سطح الأوراق على زيادة تحمل النباتات للجفاف؛ لأنه يخفض النتح الأديمى، كما يفيد فى زيادة انعكاس

الأشعة الشمسية من على سطح الأوراق. وقد تأيدت علاقة الأديم السميك بنقص النتح وزيادة المحصول — تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية — فى السورجم.

وتزيد طبقة الشمع الأديمى — طبيعيًّا — فى النباتات المعرضة للشمس عما فى النباتات التى تنمو فى الظل، كما يزداد سمك الأديم فى ظروف الجفاف والحرارة العالية؛ فهى صفة شديدة التأثر بالعوامل البيئية المحيطة بالنبات (عن Parsons ١٩٧٩)؛ ولذا.. فإن التعرف على أقصى قدرة للتركيب الوراثى على إنتاج الشمع السطحى يتطلب قياسها تحت ظروف الشدِّ.

كذلك تعكس الأوراق التى تكثر شعيراتها Pubescent Leaves الأشعة الشمسية (بين ٤٠٠، و ٧٠٠ نانوميتر، وأحيانًا حتى ٩٠٠ نانوميتر) بدرجة أكبر بكثير من الأوراق العديمة الشعيرات (كما فى الجنس *Encelia*)؛ الأمر الذى يعمل على خفض درجة حرارة الأوراق؛ ومن ثم خفض معدل نتح الماء منها (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤).

ومن جهة أخرى.. درس Denna (١٩٧٠) العلاقة بين كمية الماء التى يفقدها النبات وسمك طبقة الشمع على الأوراق فى عدد من أصناف الكرنب، والقنبيط، والبروكولى، وكرنب بروكسل، والكولارد. وقد اختلفت هذه الأصناف — جوهريًّا — فى كمية الشمع التى توجد فى وحدة المساحة من الورقة. وفى كمية الماء التى تفقدها عن طريق أى من: الثغور، أو الأديم (النتح الأديمى).

وأدت إزالة طبقة الشمع إلى زيادة معدلات النتح الأديمى، لكن لم يظهر سوى ارتباط ضعيف بين كمية الشمع التى توجد على سطح الورقة، وبين كمية الماء المفقودة من وحدة المساحة من الورقة ليلاً، أو نهارًا. وبناء على هذه النتائج.. أوصى الباحث بعدم التربية لزيادة الطبقة الشمعية السميكة heavy bloom، أو لزيادة كمية الشمع بوحدة المساحة من الورقة كوسيلة لزيادة القدرة على تحمل الجفاف فى النوع *B. oleracea*.

انخفاض كثافة الثغور واستجابة سلوكها لشدِّ الجفاف

تتوفر دلائل على أن سلوك الثغور أمر تحكمه العوامل الوراثية؛ فمثلاً.. لا تغلق الثغور طبيعيًّا فى طفرة الطماطم "الذابلة" التى يوجد فيها مستوى منخفض من حامض الأبسيسيك، ويمكن تحفيز انغلاق الثغور فيها برش النباتات بالحامض. كذلك تعرف طفرات "ذابلة" مماثلة فى البطاطس. وتختلف أصناف القطن فى مدة بقاء ثغورها مفتوحة أثناء النهار. ومن المهم أن تستجيب الثغور وتنغلق بسرعة عند نقص الرطوبة الأرضية، بالرغم من أن ذلك الانغلاق يكون على حساب تبادل الغازات والبناء الضوئى. وعمومًا.. فإن معظم الماء الذى يمتصه النبات يفقد مباشرة بالنتح من خلال الثغور، بينما يفقد جزء يسير منه (من ٢٪–٥٪ حسب النوع النباتى) عن طريق النتح الأديمى (من خلال أديم البشرة مباشرة)، ولا يستفيد النبات — فى نموه — سوى بأقل من ٥٪ من كمية الماء الكلية الممتصة، والتى تقدر فى الذرة بنحو ٢٠٥ لترات من الماء خلال موسم النمو. ولخفض كمية الماء التى تفقدها النباتات بالنتح يتعين أن تنغلق الثغور عندما تتعرض للشدِّ الرطوبى. وتختلف درجة الشدِّ الرطوبى التى تستحث الثغور على الانغلاق باختلاف الأنواع النباتية؛ فهى –٨ ضغط جوى فى الفاصوليا مقارنة بنحو –٢٨ ضغط جوى فى القطن تحت ظروف الحقل، تنخفض إلى –١٦ ضغط جوى تحت ظروف البيوت المحمية (عن Quisenberry ١٩٧٩).

صغر حجم الخلايا وبطء النمو النباتى

يلاحظ أن خلايا النباتات تكون أصغر حجمًا فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية، كما تكون فجواتها صغيرة الحجم. وتتميز الخلايا الصغيرة الحجم بأنها تكون أقل تعرضًا للأضرار الميكانيكية أثناء جفاف الأنسجة النباتية، كما أنها تسمح بانخفاض الضغط الأسموزى فيها؛ الأمر الذى يزيد من قدرتها على البقاء منتفخة.

وينعكس الحجم الصغير للخلايا — فى النباتات التى تتحمل الجفاف — على معدل نمو بادراتها، ونباتاتها الكاملة، وأعضائها المختلفة، وخاصة الأوراق؛ حيث

تكون صغيرة الحجم نسبيًا. إلاّ أن استمرار الخلايا فى النمو والزيادة فى الحجم — تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية — يعنى تميز النباتات بقدرة أكبر على تحمل الجفاف. ففى ظروف الجفاف.. تموت النباتات الحساسة، ويتوقف نمو النباتات المتوسطة التحمل، بينما يستمر نمو النباتات الشديدة التحمل.

التبكير فى النضج

يفيد التبكير فى النضج فى زيادة إنتاجية المحاصيل الزراعية عند نقص الرطوبة الأرضية، وهو — كما أسلفنا — يعد إفلاتًا من ظروف الجفاف؛ لأنه لا يجعل النبات أكثر تحملاً لظروف الجفاف إن تعرض لها.

ويجب الحذر عند الاعتماد على التبكير فى النضج بهدف الانتخاب لزيادة المحصول فى ظروف الجفاف؛ فهذه الصفة لا تفيد كثيرًا إلاّ عند اعتماد الزراعة على مخزون الرطوبة فى التربة. أما فى السنوات الكثيرة الأمطار، أو عند الاعتماد على الرى فى إنتاج المحصول.. فإن الأصناف المبكرة قد تغل محصولاً أقل من نظيرتها المتوسطة النضج أو المتأخرة.

تأخر الوصول لحالة الشيخوخة

بطء الشيخوخة slow senescence أو عدم الشيخوخة non-senece أو تأخر الشيخوخة delayed senescence، أو استمرار اللون الأخضر stay-green.. كلها مسميات لحالة لا تفقد فيها الأوراق لونها الأخضر بنفس السرعة التى يحدث بها ذلك فى الأصناف العادية. توجد تلك الصفة فى عديد من المحاصيل الرئيسية، وهى تفيد فى استمرار البناء الضوئى فيها لفترة أطول من الوقت، ومن ثم زيادة المحصول. وتفيد تلك الصفة فى الحد من تأثير الجفاف الذى يُسرع من شيخوخة الأوراق. وتجرى الدراسات على تحسين صفة استمرار اللون الأخضر من خلال إما تحفيز إنتاج النباتات للكينتين، وإما من خلال تثبيط إنتاج الإثيلين بالشفرة المضادة (Blum ٢٠٠٧).

زيادة مخزون الماء فى الجدر الخلوية

يفيد تخزين الماء فى الجدر الخلوية Apoplastic Water كمخزون احتياطى يعمل على تأجيل جفاف الأنسجة النباتية حال تعرض النباتات لنقص فى الرطوبة الأرضية. وقد لوحظ وجود مخزون كبير من هذا الماء فى النباتات التى تتحمل ظروف الجفاف؛ ويعنى ذلك أن الجدر الخلوية السميكة — التى تكون أكثر قدرة على تخزين الماء — تعد من العوامل الهامة فى تحمل النباتات للجفاف.

تحمل الأغشية الخلوية لأضرار الجفاف

وجد أن الكائنات الحية، والأعضاء النباتية — التى يمكنها البقاء تحت ظروف الجفاف — تتميز بتمثيل سكر التريهالوز trehalose أثناء فقدها للرطوبة، أو أثناء إعادة اكتسابها للرطوبة بعد جفافها. ويُعتقد أن التريهالوز يغير الخصائص الفيزيائية لليبيدات الفوسفورية Phospholipids التى توجد فى الأغشية الخلوية بطريقة تسمح بثبات تلك الأغشية فى ظروف الجفاف. كما ذُكر أن الخصائص الفيزيائية لليبيدات الجافة تكون — فى وجود التريهالوز — مماثلة لما تكون عليه فى الليبيدات الرطبة hydrated lipids (عن Myers ١٩٨٦).

توفر قنوات الماء بالأغشية الخلوية

توجد بالغشاء البلازمى المحيط بالسيتوبلازم، وكذلك الغشاء البلازمى المبطن له حول الفجوات العصارية (الـ tonoplast) ما يعرف باسم قنوات الماء water channels، أو الثقوب المائية aquaporins، وهى بروتينات توجد بتلك الأغشية وتنظم انتقال الماء عبره. وهذه الثقوب تختص بمرور الماء فقط، وتستجيب لإشارات معينة أو محولات جزيئية molecular switches. وتلعب تلك الثقوب دورًا هامًا فى العلاقات المائية بالخلايا استجابة للنقص المائى فى النباتات والشد الأسموزى؛ مما يؤدى إلى تحسين انتقال الماء. ولا شك أن الفهم الأفضل لطبيعة عمل تلك القنوات أو الثقوب المائية سوف يزيد من فهمنا لطبيعة تحمل شدّ الجفاف، وهو أمر يحظى باهتمام الباحثين (Blum ٢٠٠٧).

المحافظة على معدل البناء الضوئى المناسب

تؤثر جميع العوامل الفسيولوجية التى سبق بيانها — بصورة مباشرة، أو غير مباشرة فى معدل البناء الضوئى فى النباتات؛ فهو المحصلة النهائية لمدى قدرة النبات على تحمل الجفاف. وقد وجدت — بالفعل — اختلافات فى معدل البناء الضوئى بين أصناف وسلالات عديد من الأنواع النباتية، ولكن ظهور تلك الاختلافات — تحت ظروف الجفاف فقط — أمر لم يمكن إثباته إلاّ فى أنواع قليلة، منها السورجم (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤).

القدرة على زيادة إنتاج حامض الأبسيسك فى ظروف شد الجفاف

يزداد مستوى حامض الأبسيسك فى النبات بدرجة كبيرة استجابة لشدّ الجفاف، مما يؤدى إلى انغلاق الثغور، ومن ثم خفض مستوى الفقد المائى بالنتح من الأوراق، وتنشط جينات الاستجابة للشدّ. وهذا التفاعل قابل لأن يُعكس؛ فما أن يصبح الماء متوفرًا حتى ينخفض مستوى حامض الأبسيسك، ويعاد انفتاح الثغور. ولذا.. فإن زيادة حساسية النباتات لحامض الأبسيسك تعد أحد الأهداف الهامة لتحسين تحمل الجفاف (ISAAA ٢٠٠٨).

التعديل أو التنظيم الأسموزى

أن بقاء الخلايا منتفخة يعد أمرًا حيويًا بالنسبة لنموها وزيادة حجمها، وبذا.. فإن انتفاخ الخلايا الدائم يعد ضروريًا لاستمرار النمو النباتى.. ونظرًا لأن نقص الرطوبة الأرضية يؤدى إلى فقدان الخلايا لبعض رطوبتها — الأمر الذى يؤدى إلى انكماشها — فإن نقص الرطوبة يكون مصاحبًا بنقص فى معدل النمو النباتى، بما فى ذلك نمو الجذور الضرورى لاستمرار امتصاص الماء من أكبر قدر ممكن من التربة القليلة الرطوبة.

ويمكن المحافظة على بقاء الخلايا منتفخة ببعض وسائل التأقلم؛ مثل: صغر حجم الخلايا، وزيادة مطاطية الأغشية الخلوية، وزيادة الضغط الأسموزى للخلايا، فيما يعرف باسم التنظيم الأسموزى. ويحدث التنظيم الأسموزى من خلال تراكم المواد العضوية الذائبة فى السيتوبلازم.

ومن أهم المركبات التى تتراكم فى ظروف الجفاف ما يلى (عن Hughes وآخرين ١٩٨٩).

Betaine	Ascorbate
Glutathione	Proline
Alpha-tocopherol	Polyols (mannitol, sorbitol, pinitol)

ويفيد التعديل أو التنظيم الأسموزى osmotic adjustment فيما يلى:

١–المحافظة على بقاء الخلايا ممتلئة؛ مما يعمل على تأخير الذبول.

٢–المحافظة على استمرار النمو والإنتاج فى ظل ضعف الوضع المائى للنبات.

٣–حماية بروتينات الخلايا، والإنزيمات، والجزيئات الكبيرة macromolecules، وعضيات الخلية، والأغشية البلازمية من الجفاف والتلف.

٤–استمرار الجذور فى النمو وامتصاص الماء من الطبقات السفلى من التربة.

٥–المحافظة على حيوية الأنسجة الميرستيمية فى ظروف الجفاف.

ولقد وجدت علاقة قوية بين التعديل الأسموزى وإنتاج الكتلة الحيوية تحت ظروف شدّ الجفاف فى كل من القمح والذرة الرفيعة وعديد من البقول والصليبيات.

هذا.. وبعد زوال حالة شدّ الجفاف فإن مختلف المركبات العضوية التى سبق تراكمها أثناء التعديل الأسموزى يُستفاد منها فى استعادة النمو السريع (Blum ٢٠٠٧). يعد البرولين أحد أهم المركبات العضوية الذائبة المتوافقة التى تتراكم فى النبات فى مواجهة الشدّ الأسموزى، خاصة فيما يتعلق بشدّ الجفاف وشدّ الملوحة. ويحدث هذا التراكم للبرولين بطريقتين: تنشيط تمثيل البرولين، وتثبيط تحلله، علمًا بأن الإنزيمين المصاحبين فى هذا الشأن تحت ظروف الشد – هما: delta-pyrroline-5-carboxylate synthetase (اختصارًا: P5CS)،و prolyine dehydrogenase (اختصارًا: ProDH). ولقد وضح فى

التبغ المحول وراثيًّا أن البرولين يعمل كحامٍ أسموزى، وأن زيادة إنتاجه توفر حماية من حالات الشدِّ الأسموزى فى النباتات المحولة (Yoshiba وآخرون ١٩٩٧).

ولقد تراوح محتوى نباتات الطماطم والفلفل والكرنب من البرولين — فى ظروف توفر الرطوبة الأرضية — من ٠,٢–٠,٦مجم/جم (على أساس الوزن الجاف)، ولكن محتواها ارتفع إلى ٥٠مجم/جم وزنًا جافًّا فى ظروف الجفاف (عن Parsons ١٩٧٩).

ومع ذلك.. فلم تظهر علاقة واضحة بين تراكم البرولين فى بعض النباتات وبين قدرتها على تحمل الجفاف. ففى السورجم.. وجدت اختلافات معنوية بين الأصناف فى مدى تراكم البرولين فيها، ولكن دون أن يكون لذلك أدنى علاقة بقدرتها على تحمل الجفاف (Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤)، بينما كان تراكم البرولين بدرجة أكبر فى سلالات الشعير الأكثر قدرة على تحمل الجفاف.

ووجد أن البرولين تراكم فى جميع أصناف الطماطم المختبرة بزيادة فترة تعرضها للجفاف، بما يعنى عدم إمكان الاعتماد على تلك الخاصية فى التقييم لتحمل الملوحة (Thakur ١٩٩١).

وتبين لدى مقارنة تراكم البرولين فى عدد من أصناف الفاصوليا المتحملة للجفاف (مثل Negro 150، Michoacan 12A3). والحساسة (مثل Flor de Mayo، وCacahuate 72) ووجد أن البرولين الحر تراكم فى أوراق كل الأصناف، وكان أكثر التراكم فى الصنفين الحساسين. ولقد اقترح أن تراكم البرولين ربما يكون أحد أعراض شدِّ الجفاف فى الأصناف الحساسة، وربما يلعب دورًا هامًّا فى المحافظة على امتلاء الخلايا turger فى الأصناف المتحملة للجفاف (Andrade وآخرون ١٩٩٥).

القدرة على تكوين مضادات الأكسدة

تمثل الجذور الحرة free radicals والبيروكسيدات peroxides فئة من الجزيئات التى تنتج من أيض الأكسجين، وتعرف باسم المواد أو العناصر النشطة فى الأكسدة

reactive oxygen species (اختصارًا: ROS). هذا وتوجد مصادر عديدة للـ ROS يمكن أن تُحدث أضرار أكسدة للكائنات الحية. وتأتى معظمها كنواتج جانبية لتفاعلات طبيعية وضرورية، مثل تلك الخاصة بتوليد الطاقة فى الميتوكوندريا. وتكون الجذور الحرة غير ثابتة لأن بها إليكترونات غير متزاوجة unpaired فى تركيبها الجزيئى؛ مما يجعلها تتفاعل على التو مع أى مادة حولها؛ وبذا.. فإنها تتلف الأغشية الخلوية، والإنزيمات، والدنا DNA.

ومضادات الأكسدة مواد نشطة تتكون طبيعيًّا فى كل الكائنات الحية، وتؤدى إلى التخلص من الجذور الحرة. ومن أمثلتها الـ superoxide dismutase، والـ catalase، والـ glutathione reductase ، والـ dehydroxyascorbate reductase، والـ monodehydroxyascorbate reductase، والـ ascorbate peroxidase. ونجد — مثلاً — أن الـ superoxide dismutase يحول الـ O_2^o إلى فوق أكسيد الأيدروجين، والـ catalase يحول فوق أكسيد الأيدروجين إلى أكسجين O_2.

يزداد الشدّ التأكسدى فى النباتات فى ظروف الجفاف والشدّ الأسموزى وبعض حالات الشدّ الأخرى، ويعمل تواجد مضادات الأكسدة على الحد من أضرار الـ ROS (عن Hughes وآخرين ١٩٨٩، و Blum ٢٠٠٧).

إنتاج بروتينات الـ LEA

تعرف مجموعة من البروتينات ذات وزن جزيئى صغير يُنَظم إنتاجها فى البذور أثناء تكوينها، كما فى الشعير على سبيل المثال. ويلعب تكوينها أثناء تكوين جنين البذرة دورًا فى حماية الجنين أثناء نضج البذور وفقدها للرطوبة خلال تلك المرحلة. وتعرف تلك البروتينات باسم late embryogenesis abundant proteins (اختصارًا: LEA proteins). وقد تبين أن تلك البروتينات تشكل عائلة تضم عدة بروتينات متشابهة مثل الديهدرينات dehydrins، وأنها ليست قاصرة على أجنة البذور، ويمكن

حث إنتاجها تحت ظروف شدِّ الجفاف فى عديد من الأنسجة النباتية. وبعض تلك البروتينات يستجيب لحامض الأبسيسك، بينما لا يستجيب بعضها الآخر، وهى تلعب دورًا فى تحمل شدِّ الجفاف والشدِّ الأسموزى عامة (Blum ٢٠٠٧).

التقييم لتحمل ظروف الجفاف

إن جميع الأسس الفسيولوجية لتحمل النباتات للجفاف – والتى سبقت مناقشتها تحت موضوع طبيعة تحمل الجفاف – يمكن الاستفادة منها فى تقييم النباتات لتحمل الجفاف. والشروط اللازمة لإمكان الاعتماد على أى من تلك الأسس كوسيلة للتقييم والانتخاب (والتى تجرى عادة فى حجرات النمو أو فى البيوت المحمية) هو إمكان إجرائها بيسر وسهولة، وعدم تسببها فى موت النبات (ليمكن انتخابه عند اللزوم)، وارتباطها بتحمل النباتات لنقص الرطوبة الأرضية تحت ظروف الحقل.

ونضيف فى هذا المقام – إلى ما سبق بيانه من أسس لتحمل الجفاف – ما يلى:

١– الحساسية لاحتراق الأوراق Leaf Firing:

تعد الشيخوخة السريعة للأوراق من الأعراض المعروفة للشدِّ الرطوبى، وتدل على موت أنسجة الورقة بسبب ارتفاع حرارتها الناشئ عن توقف النتح فيها، علمًا بأن درجة الحرارة العظمى المميتة لأوراق معظم النباتات تتراوح من ٤٥ – ٥٥°م. ويمكن الاعتماد على ظاهرة احتراق الأوراق كدليل على مدى حساسية النباتات للجفاف. فمثلاً.. تُقيم نباتات الأرز لتحمل الجفاف بتقدير مدى جفاف قمة الأوراق بعد ٣٩ يومًا من آخر رية للحقل.

٢– التفاف الأوراق Leaf rolling:

يعد التفاف الأوراق من الأعراض المميزة للشدِّ الرطوبى فى النباتات، كما يعد وسيلة – من جانب النباتات – لتقليل فقد الرطوبة بالنتح. وقد لوحظ وجود اختلافات بين أصناف وسلالات الحبوب فى مدى التفاف أوراقها تحت ظروف الجفاف، وارتباط

تلك الاختلافات بظواهر أخرى فسيولوجية وثيقة الصلة بقدرة النباتات على تحمل الجفاف. ففى الأرز.. كان مردّ قلة التفاف الأوراق فى بعض السلالات — تحت ظروف الجفاف — إلى تمتع تلك السلالات بقدر أكبر من التنظيم الأسموزى.

٣- درجة حرارة الأوراق:

ترتبط درجة حرارة الأوراق — تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية — ارتباطًا وثيقًا بمعدل النتح، الذى يكون — بدوره — دليلاً على مدى قدرة النبات على امتصاص الرطوبة اللازمة لاستمرار عملية النتح؛ أى على مدى تشعب وكثافة نموه الجذرى.

وقد توصل Stark وآخرون (١٩٩١) — من دراستهم على ١٤ صنفًا وسلالة من البطاطس — إلى وجود علاقة خطية بين ΔT (وهى الفرق بين درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة النموات الخضرية أثناء النهار فى الأيام الصحوة)، والنقص فى ضغط بخار الماء Vapor Pressure Deficit — فى النباتات — فى حالات معاملات الرى المختلفة؛ وبذا.. أمكنهم استخدم ΔT - بكفاءة — فى تقييم القدرة النسبية على تحمل ظروف الجفاف فى البطاطس.

ويمكن تقدير درجة حرارة الأوراق — عن بعد — بالاستعانة بتومومتر يعتمد على الأشعة تحت الحمراء الصادرة من النباتات. ويكفى فى هذا الشأن مقارنة النباتات مع بعضها البعض تحت نفس الظروف، مع تقسيمها إلى ثلاث فئات تكون درجة حرارة نمواتها الخضرية منخفضة، أو متوسطة، أو مرتفعة، وانتخاب النباتات التى تكون حرارتها منخفضة؛ لأنها تكون أكثر قدرة على امتصاص الرطوبة اللازمة لها من التربة تحت ظروف الجفاف. ومع ذلك فإن النباتات التى تكون حرارتها عالية — وهى التى ينخفض فيها معدل النتح — قد تكون هى المطلوبة عند الرغبة فى توفير الرطوبة الأرضية لمراحل أخرى من النمو تكون أكثر حساسية للنقص الرطوبى.

وقد اتبعت طريقة تقدير درجة حرارة الأوراق فى برامج التربية لتحمل الجفاف فى كل من القمح، والذرة، وفول الصويا (عن Blum ١٩٨٩).

٤- كثافة وتشعب المجموع الجذرى:

وجد أن صفات النمو الجذرى — مثل وزنه ودرجة تشعبه — ترتبط فى كل من الذرة والأرز بالقوة اللازمة لاقتلاع النباتات من التربة. ويعد هذا الاختبار وسيلة سهلة وسريعة لتقدير مدى تشعب وكثافة النمو الجذرى الذى يصعب قياسه بدقة بصورة مباشرة، فضلاً عما يصاحب طرق التقدير المباشرة من تباينات كبيرة فى العينات المقاسة.

وقد أوضحت دراسة أجريت على ٢٥٠ تركيبًا وراثيًّا من البطاطس وجود ارتباط معنوى بين القوة اللازمة لجذب النباتات من التربة وكل من: طول الجذور، والوزن الجاف للجذور التى تم جذبها، والتى تبقت فى التربة، وطول النبات، وعدد السيقان، وكذلك مع عدد الدرنات الصغيرة المتكونة ووزنها فى سبع سلالات كانت قد بدأت فى تكوين الدرنات وقت إجراء الاختبار (عن Ekanayake & Midmore ١٩٩٢).

٥- الانتخاب لصفة المحصول:

يفيد الانتخاب لصفة المحصول العالى تحت ظروف الجفاف فى تمييز الأصناف والسلالات المرغوب فيها مباشرة، إلاّ أن لذلك الاختبار عيوبًا كبيرة، هى كما يلى:

أ- الحاجة إلى استمرار الاختبار إلى حين الانتهاء من حصاد المحصول؛ الأمر الذى يستنفذ كثيرًا من الوقت والجهد.

ب- يعتمد الاختبار على مجرد مقارنة السلالات ببعضها البعض فى صفة المحصول نظرًا لأن السلالات ذات الإنتاجية العالية قد تستمر متميزة عن غيرها من السلالات تحت ظروف الجفاف.. لذا.. فإن انتخابها ربما لا يكون معتمدًا على قدرة حقيقية فى النبات على تحمل الجفاف.

ج- كثيرًا ما يؤدى هذا الاختبار إلى استبعاد سلالات جيدة تحمل صفات فسيولوجية تؤهلها لتحمل الجفاف، ولكن محصولها يكون منخفضًا؛ فلا تبرز فى اختبارات التقييم للمحصول.

٦- الانتخاب فى مزارع الأنسجة:

ربما كان من السهل الانتخاب لتراكم مركبات عضوية معينة — وثيقة الصلة بظاهرة التنظيم الأسموزى — فى مزارع الأنسجة، ولكن تبقى — بالرغم من ذلك — بعض أوجه القصور فى الاعتماد على مزارع الأنسجة لانتخاب نباتات تتحمل ظروف الجفاف؛ منها ما يلى:

أ- إنتاج النباتات الكاملة من سلالات الخلايا المنتخبة.

ب- احتمال عدم وجود أية علاقة بين تحمل الخلايا المفردة للجفاف وتحمل النباتات الكاملة النمو؛ لأن التنظيم الأسموزى فى النبات الكامل قد يتحقق من خلال تجزئ نواتج البناء الضوئى بين أعضاء النبات المختلفة وأنسجته، وخلاياه. كما قد يتحقق ذلك من خلال توقف فى نمو النبات الكامل؛ الأمر إلى يوفر نواتج البناء الضوئى لتأمين التنظيم الأسموزى، وهو ما يصعب تخيل حدوثه فى مزارع الأنسجة (عن Blum ١٩٨٩).

وبالرغم من ذلك.. تفيد مزارع الأنسجة فى تجنب كافة العوامل التى يصعب التحكم فيها تحت ظروف الحقل، والتى قد تؤثر فى استجابة النباتات لظروف الجفاف.

ويتحقق الشدّ الرطوبى فى مزارع الأنسجة بإضافة بعض المركبات التى تزيد الضغط الأسموزى لبيئة الزراعة، مثل البوليثيلين جليكول ٦٠٠٠، الذى لا يمكنه المرور خلال الجدر الخلوية إلى داخل الخلايا. ويؤدى الفرق فى الضغط الأسموزى بين البيئة المغذية والخلايا النامية فيها إلى جفاف الخلايا وانهيار جدرها الخلوية. تعرف هذه الظاهرة باسم

Cytorhysis، وهى تختلف عن ظاهرة البلزمة التى ينكمش فيها البروتوبلازم، بينما تبقى الجدر الخلوية فى مكانها؛ بسبب دخول المركب المُحدث للبلزمة من خلال الجدر الخلوية إلى الفراغ الذى يفصلها عن الغشاء البلازمى الخارجى لبروتوبلازم الخلية.

ونظرًا لعدم استطاعة البوليثيلين جليكول المرور من خلال الجدر الخلوية، فإنه لا يكون له أى دور فى التنظيم الأسموزى بالخلايا، مقارنة بما يحدث إذا استخدمت مركبات عضوية ذات وزن جزيئى منخفض، أو أيونات معينة لرفع الضغط الأسموزى فى البيئة المغذية. وبذا.. فإن الخلايا تتعامل مع الشدِّ الرطوبى — الذى يحدثه البوليثيلين جليكول — حسب تركيبها الوراثى وقدرتها على تحمل تلك الظروف، ويكون تأثرها مقصورًا على ما يحدثه الشدِّ الرطوبى بها، دون أن تحدث أية تأثيرات سامة من جراء امتصاص الخلايا لتركيزات عالية من أيونات معينة قد تستخدم لزيادة الضغط الأسموزى فى بيئة الزراعة.

وقد استخدمت هذه الطريقة فى الحصول على سلالات خلايا من صنف الطماطم VFNT Cherry قادرة على النمو فى بيئة مغذية تحتوى على ٣٠ جم بوليثيلين جليكول ٦٠٠٠/١٠٠ مل.

كما أمكن التمييز بين مزارع الخلايا التى حدث فيها مجرد تأقلم فسيولوجى على ظروف الشد الرطوبى وبين سلالات الخلايا التى تميزت بقدرة وراثية ثابتة على تحمل تلك الظروف؛ حيث فقدت المزارع قدرتها على تحمل الشدِّ الرطوبى سريعًا بعد نقلها إلى مزارع خلت من البوليثيلين جليكول. ويحدث هذا التأقلم — بصورة خاصة — عند زيادة تركيز البوليثيلين جليكول تدريجيًا فى البيئة المغذية من ١٥ إلى ٣٠ جم/١٠٠ مل (عن Hasegawa وآخرين ١٩٨٤).

ويلخص Singh (١٩٩٣) أهم الصفات التى استخدمت فى التقييم لتحمل الجفاف فى مختلف المحاصيل فيما يلى:

الصفة	النوع المحصولى
ثبات المحصول	القمح — الأرز — الذرة — الشعير — السورجم
الجهد المائى للأوراق	السورجم — القمح — الأرز — فول الصويا — القطن
التفاف الأوراق	الأرز
النمو الجذرى	السورجم — الأرز — الشوفان — القمح — الذرة
قطر نسيج الخشب بالجذور	القمح
التعديل الأسموزى	القمح — السورجم
توصيل الثغور	القطن
تراكم حامض الأبسيسك	السورجم — الأرز — القمح
حرارة النمو الخضرى	الذرة — القطن
بقاء البادرات ونموها	البرسيم الحجازى
استعادة البادرات لنموها بعد حالة	الذرة
النمو فى ظروف الشدّ	الذرة
القدرة على الإزهار	الفاصوليا
تراكم البرولين	الشعير، و *Brassica* spp.

كما يلخص Khan وآخرون (٢٠١٠) أهم الصفات ذات العلاقة بآليات تحمل الجفاف ومدى التباين الوراثى فيها فيما يلى:

الآلية	الصفة	التباين الوراثى
الإفلات من الجفاف	المساحة الورقية الخاصة specific leaf	منخفض
	التبكير فى النضج	متوسط
تجنب الجفاف	المادة الجافة بالنموات الخضرية	متوسط
	كفاءة استعمال المياه	متوسط
	كفاءة النتح	متوسط
	توصيل الثغور	عالى
	حرارة الأوراق	منخفض
	مواصفات أديم الورقة	غير معروف
	طول الجذور	منخفض
	الوزن الجاف للجذور	متوسط
تحمل الجفاف	الجهد الأسموزى	متوسط
	الاستجابة للتأكسد	غير معروف

ونظرًا لأهمية الفقد الرطوبى، ومعدل البناء الضوئى — تحت ظروف الجفاف — فى تحمل النباتات للجفاف — فإن تلك القيم تدخل فى معادلات حساب المحصول البيولوجى والمحصول الاقتصادى، كما يلى:

$$W = mT/E_0$$

حيث إن:

W = المحصول البيولوجى.

m = ثابت خاص بالنبات.

T = النتح الخاص بالمحصول Crop Transpiration.

E_0 = التبخر السطحى والنتح الممكنان للمحصول Potential Evapotranspiration.

ويمكن استبدال القيمة T بالقيمة E_a، وهى التبخر السطحى والنتح الفعليان للمحصول.

أما المحصول الاقتصادى فيقدر بالمعادلة التالية:

$$EY = E_a \times WUE \times HI$$

حيث إن:

EY = المحصول الاقتصادى

WUE = كفاءة استعمال الماء Water Use Efficiency (كمية الماء المفقودة مقابل كل وحدة وزن من المادة العضوية المصنعة).

HI = دليل الحصاد (عن Blum ١٩٨٩).

وراثة تحمل الجفاف فى النباتات

يعتقد أنه باستثناء بعض الصفات البسيطة المؤثرة فى القدرة على تحمل الجفاف فى النباتات، فإن غالبية حالات تحمل الجفاف كمية، كما يعتقد أن مختلف السلالات

التى تُظهر تلك الصفة تتميز بنظم مختلفة لتحمل الجفاف؛ نظرًا لنشأتها فى ظروف بيئية متباينة. لذا.. فإن تهجين تلك السلالات — مجتمعة — قد يعطى الفرصة لظهور انعزالات وراثية أكثر تحملاً للجفاف فى كل سلالة على حدة.

إن وراثة الصفات ذات العلاقة بتحمل الجفاف يتراوح بين الـ oligogenic (يتحكم فيها جينات قليلة العدد) إلى polygenic (يتحكم فيها عديد من الجينات). ويبين جدول (٧-١) نظام التحكم الوراثى فى تلك الصفات. وعمومًا.. فإن صفات الأوراق (مثل الطبقة الشمعية واللمعان، واللون الرمادى المزرق glucousness والأوراق الملساء) غالبًا هى oligogenic. وكذلك يبدو أن صفات تراكم حامض الأبسيسك والبرولين (حتى ٦ أضعاف فى الشعين)، وعقد القرون دون سقوط للأزهار فى الفاصوليا هى أيضًا oligogenic. هذا.. إلا أن الصفات الأخرى التى يعتقد فى ارتباطها بمقاومة الجفاف يبدو أنها polygenic. وتتباين درجة التوريث فى الصفات التى دُرست فيها تلك الخاصية بين المنخفضة (كما فى صفة توصيل الثغور فى القطن) والمرتفعة (كما فى صفة قطر الخشب فى القمح). وترتبط معظم تلك الصفات بكمية المحصول تحت ظروف الشدّ، إلا أن ذلك الارتباط يكون — غالبًا — ضعيفًا. وكما يظهر فى الجدول.. فإن الانتخاب لبعض تلك الصفات يكون فعالاً (عن Singh ١٩٩٣).

جدول (٧-١): نظام التحكم الوراثى فى بعض الصفات المؤثرة فى تحمل الجفاف فى مختلف المحاصيل (عن **Singh ١٩٩٣**).

الصفة	المحصول	عدد الجينات والفعل الجينى[أ]	درجة التوريث	الارتباط والصفات المرتبطة[أ]	ملاحظات
تجنب فقد الرطوبة					
صفات الجذور[ب]	الأرز	D, A	متوسطة	+ مع استجابة النمو الخضرى للجفاف	–
قطر خشب الجذر	القمح	–	عالية	–	تستجيب للانتخاب

يتبع

تابع جدول: (٧-١)

الصفة	المحصول	عدد الجينات والفعل الجينى[أ]	درجة التوريث	الارتباط والصفات المرتبطة[أ]	ملاحظات
توصيل الثغور	القطن	A, D	منخفضة	–	–
التعديل الأسموزى	القمح	بسيطة	–	+ مع المحصول	–
	Brassica sp.	–	–	+ مع المحصول وتوصيل الثغور	–
	السورجم	–	–	+ مع المحصول وتحمل الجفاف	قد تقلل المحصول
تراكم حامض الأبسيسك	القمح	بسيطة	–	+ مع المحصول	الانتخاب فعال
الشمع السطحى	السورجم	Bm1, Bm2	–	–	–
الشمع السطحى غير الكثيف	السورجم	h1, h2,h3	–	–	–
الشمع الأديمى	الشعير	٥٦ جين	–	–	–
لمعان الأوراق	السورجم	g11-g110	–	–	–
اللون الرمادى المزرق للأوراق	القمح	w1,W1, W1, W2, $W2^b$, $W2^1$	–	–	تؤثر فى التركيب الكيميائى للشمع
الأوراق الملساء	فول الصويا	جين واحد سائد	–	–	–
احتفاظ الأوراق بالرطوبة	القمح	D	–	–	–
تحمل فقد الرطوبة					
استعادة البادرات لنموها[ج]	الذرة	$D > R$	–	–	–
نمو البادرات[ج]	الذرة	–	–	–	فعال للانتخاب لتحمل الجفاف
عقد القرون	الفاصوليا	١-٢ جين سائد	–	–	–
تراكم البرولين	*Brassica* sp.	A	–	–	الانتخاب فعال
	الشعير	بسيطة	–	–	–
الجهد المائى للأوراق	عدة محاصيل	–	–	+ مع المحصول والقدرة على امتصاص الماء	–
تأخر عفن الأوراق[ج]	الأرز	–	–	–	الانتخاب فعال
حرارة النمو الخضرى[ج]	الذرة	–	–	+ مع المحصول	تزيد كمية المحصول

أ- D: سيادة، و A: تأثير إضافى، و +: تحت ظروف الشدّ وكذلك عدم الشدّ.

ب- الجذور الطويلة، وعدد الجذور، ونسبة النمو الجذرى إلى النمو الخضرى العالية، وكثافة النمو الجذرى، وزيادة الوزن الجاف للجذور.

ج- تحت ظروف الشدّ.

تحديات التربية لتحمل الجفاف

إن الانتخاب المباشر لتحسين المحصول تحت ظروف الجفاف واجهته صعاب كبيرة تمثلت فى انخفاض درجة التوريث، وكون تلك الصفة غالبًا كمية يتحكم فيها عديد من الجينات يوجد بينهما تفوق، وتفاعلات بين التراكيب الوراثية والبيئية. ويفسر ذلك البطء الملاحظ فى التقدم نحو تحسين تحمل الجفاف فى النباتات (Cattivelli وآخرون ٢٠٠٧).

ومن أبرز تحديات التربية لتحمل الجفاف فى النباتات أن أهم مصادر الصفة تقتصر – غالبًا – على الأنواع البرية. وإذا ما أخذنا الطماطم كمثال.. نجد – تبعًا لمركز الثروة الوراثية للطماطم Tomato Genetics Resource Center (اختصارًا: TGRC) فى ديفز – كاليفورنيا – أن مصادر تحمل الجفاف تتوفر فى بعض السلالات البرية من كل من الأنواع التالية:

S. chilense

S. cheesmanii

S. lycopersicum var. *cerasiforme*

S. lycopersicum

S. peruvianum

S. pennellii

S. piminellifolium

هذا ويستوطن النوعان *S. chilense*، و *S. pennellii* المناطق الجافة وشبه الجافة من أمريكا الجنوبية. وينتج كلا النوعين ثمارًا صغيرة خضراء، ونموها غير محدود.

يتأقلم *S. chilense* على المناطق الصحراوية من شمال شيلى، ويوجد غالبًا فى مناطق لا توجد فيها أى نموات نباتية أخرى. لنباتات هذا النوع أوراقًا شديدة التفصيص ومجموعًا جذريًا جيد التكوين، ويتميز جذرها الأولى بأنه أكثر طولاً وأكثر انتشارًا عن جذر الطماطم المزروعة. ويستدل من اختبارات شدِّ الجفاف أن *S. chilense* أكثر تحملاً للذبول بمقدار خمسة أضعاف مقارنة بالطماطم.

أما *S. pennellii* فيتميز بقدرته على زيادة كفاءة استخدامه للمياه فى ظروف الجفاف مقارنة بالطماطم، وأوراقه سميكة، ومستديرة، وشمعية، ولها القدرة على الاستفادة من الندى (de la Pena & Hughes ٢٠٠٧).

التربية لتحمل الملوحة

استجابة النباتات للشد الملحى

بصورة عامة.. تستجيب النباتات للملوحة العالية بطريقتين مختلفتين، كما يلى:

١- تحد النباتات الحساسة للملوحة من امتصاص الملح وتعدل ضغطها الأسموزى بتمثيل المواد الذائبة المتوافقة (مثل البرولين والجليسين بيتين والسكريات).

٢- تقوم النباتات المتحملة للملوحة بعزل الأملاح وتجميعها فى الفجوات العصارية؛ وبذا فإنها تتحكم فى تركيز الملح بالسيتوبلازم، وتحافظ على نسبة عالية من K^+/Na^+ بالسيتوبلازم.

وقد يوفر استبعاد الأيونات درجة من التحمل فى التركيزات المنخفضة نسبيًا من كلوريد الصوديوم، ولكنه لا يفيد فى التركيزات العالية من الملح؛ مما يؤدى إلى تثبيط عمليات الأيض الرئيسية؛ ومن ثم تثبيط النمو (Yamaguchi & Blumwald ٢٠٠٥).

وكما أسلفنا.. فإن التعديل الأسموزى يأخذ مجراه فى السيتوبلازم بما يعرف بالمركبات الذائبة المتوافقة compatible solutes، وهى — كما علمنا — مركبات عضوية — مثل

الجليسين بيتين والمانيتول، والبرولين — لا تضر الأيض وإنما قد تفيده. وتتطلب عملية الـ compartmentation أن تمتلك النباتات المتحملة للملوحة آلية تمكنها من المحافظة على فرق فى تركيز الأيونات عبر الغشاء البلازمى المحيط بالفجوات العصارية. وتعتمد هذه الآلية على تركيب الغشاء وعلى البروتينات التى تنقل الأيونات عبره.

إن الأيونات تدخل الخلايا النباتية عن طريق بروتينات تعد جزءًا أساسيًّا من الأغشية الخلوية. ويمكن لهذه البروتينات أن تشكل قنوات channels تنتشر من خلالها الأيونات عبر تدرج جهد كهروكيميائى electrochemical potential gradient، أو أن تعمل كحوامل carriers، حيث يرتبط البروتين بأيون على أحد جانبى الغشاء البلازمى ويطلقه فى الجانب الآخر. وتتم كلتا العمليتين للبروتينات بمضخات أيونية ion pumps تعمل بالطاقة. تستخدم المضخات الطاقة المخزنة فى الـ ATP (وفى حالة الغشاء البلازمى للفجوات العصارية تستخدم الطاقة المخزنة فى كل من الـ ATP والـ pyrophosphate) فى تحريك البروتونات عبر الغشاء، مولدة فرقًا فى تركيز أيون الأيدروجين (الـ pH) وجهدًا كهربائيًّا (ΔE). ويكون الفرق فى الجهد الكهربائى هو المسئول عن حركة الكاتيونات إلى الداخل من خلال القنوات، بينما يكون الفرق فى تركيز أيون الأيدروجين هو المسئول عن حركة الأيونات عن طريق الحوامل، وهى التى يحدث فيها الالتحام بين البروتونات والأيونات (Flowers & Flowers ٢٠٠٥).

طبيعة تحمل الملوحة فى النباتات العادية المتحملة لها

إن من أهم آليات تحمل الملوحة فى النباتات العادية (الـ glycophytes)، ما يلى:

اختيارية الأيونات Ion Selectivity

لقد أُرجعت الحساسية للملوحة فى بعض الأنواع المحصولية إلى فشل النباتات فى بقاء أيونا الصوديوم والكلوريد بعيدًا عن مسار الماء المتحرك تحت تأثير النتح؛ ومن ثم

سيتوبلازم النموات الخضرية. إن النباتات التى تحد من امتصاص الأيونات السامة وتحافظ على مستويات طبيعية من الأيونات المغذية يمكن أن تكون أكثر تحملاً للملوحة عن تلك التى لا تحد من تراكم الأيونات والتى تفتقد التوازن الأيونى. ويمكن لآليات امتصاص الأيونات الاختيارى القادرة على التمييز بين الأيونات المتشابهة كيميائيًّا – مثل أيونى الصوديوم والبوتاسيوم – أن تُسهم فى تحمل الملوحة. وتُعد التربية لهذا الغرض من أبسط الطرق لتحسين تحمل الملوحة فى الأصناف الحساسة Shannon ١٩٩٧).

إن قدرة النبات على المحافظة على نسبة عالية من البوتاسيوم إلى الصوديوم (K^+/Na^+) فى السيتوبلازم لهى أمر على درجة عالية من الأهمية فى تحمله للملوحة. ولقد استهدفت جهود مربى النبات تحسين تلك النسبة من خلال الحد من امتصاص الصوديوم Na^+ وانتقاله إلى النموات الخضرية (Shabala وآخرون ٢٠٠٨).

ولقد وجد ارتباط قوى جدًّا فى الشعير بين قدرة النباتات على الاحتفاظ بتركيز عالٍ من البوتاسيوم ضد التسرب — تحت ظروف الملوحة — وتحملها للملوحة.

هذا.. علمًا بأن نسبة البوتاسيوم K^+ إلى الصوديوم Na^+ تنخفض بشدة تحت ظروف الملوحة؛ نتيجة لكل من التجمع الزائد للصوديوم فى السيتوبلازم، والزيادة فى تسرب البوتاسيوم من الخلايا. ويحدث التسرب بفعل ما يحدثه كلوريد الصوديوم من depolarization بالأغشية البلازمية تحت ظروف الملوحة (Chen وآخرون ٢٠٠٥).

وتحد معظم الأنواع المحصولية من امتصاص الملح ووصوله إلى مسار تيار ماء النتح — إلى حد ما — من خلال تحديد تواجده فى الفجوات العصارية، وربما يمكن لبعض الأنواع التخلص من الأيونات من خلال الغدد الملحية، أو بتخزين الملح فى الجذور أو الأوراق أو أعناق الأوراق أو السيقان. وما لم يستمر النبات فى النمو بحيث لا تمتلئ أماكن تخزين الأملاح بالأملاح، فإن الأملاح تتسرب منها وتؤثر فى الأنسجة الحساسة؛ مما يؤثر فى الحالة العامة للنبات.

الحد من تراكم الأيونات

أن الحد من تراكم الأيونات فى الجذور والسيقان يُعد أحد أكثر آليات تحمل الملوحة شيوعًا فى النباتات.

التنظيم الأسموزى

نجد أن معظم النباتات الثنائية الفلقة المحبة للملوحة halophytes عصيرية succulent، ويتراكم فى فجواتها العصيرية تركيزات عالية من أيونى الصوديوم والكلور. كما يكون تركيز هذين الأيونين فى سيتوبلازم هذه النباتات أعلى مما فى النباتات العادية (القليلة أو المتوسطة التحمل للملوحة mesophytes).

ويفيد التعديل الأسموزى Osmotic Adjustment، الذى يُحدث خفضًا فى جهد الضغط الأسموزى النباتى من خلال إحداث زيادة فى محتواه من المواد الذائبة (أو إحداث خفض فى محتواه من الرطوبة) - استجابة لانخفاض فى الجهد المائى الخارجى - يفيد فى استمرار المحافظة على امتلاء الخلايا. ويؤدى ضعف القدرة على التعديل الأسموزى إلى فقد امتلاء الخلايا وانغلاق الثغور، الذى يتبعه نقص فى تبادل الغازات وضعف البناء الضوئى، كما يكون لفقد امتلاء الخلايا تأثيرات ضارة على انقسام الخلايا واستطالتها.

ولكى تحقق تلك النباتات توازنًا أسموزيًّا Osmoregulation بين الفجوات والسيتوبلازم .. يتراكم بسيتوبلازم خلاياها تركيزات عالية جدًّا من المركبات العضوية المتوافقة الذائبة compatible osmolytes عند تعرضها للشدّ الملحى (أو الجفافى)، والتى من أهمها ما يلى:

١- المركبات الكربوهيدراتية:

السكروز - السوربيتول sorbitol - المانيتول manitol - الجليسرول glycerol - الأرابينيتول arabinitol - البينيتول pinitol - مركبات polyols أخرى.

٢- المركبات النيتروجينية:

البروتينات — البرولين — البيتين betaine — حامض الجلوتامك — حامض الأسبارتك — الجليسين — الجليسين بيتين glycine betaine — الكولين choline — البوتريسين putrescine.

٣- الأحماض العضوية:

حامض الأوكساليك — حامض الماليك (Sairam & Tyagi ٢٠٠٤) علمًا بأن الأحماض العضوية ذات الشحنة السالبة تعمل على إحداث توازن مع أيونات الصوديوم المتراكمة ذات الشحنة الموجبة.

ومن المعلوم أن نشاط عديد من الإنزيمات يتأثر سلبيًّا بالمركبات الذائبة غير العضوية، بينما يكون ضرر المركبات العضوية الذائبة معدومًا أو قليلاً فى التركيزات العالية.

وبالرغم من الدراسات العديدة التى أجريت على موضوع التنظيم الأسموزى فى النباتات، فإنه لا يوجد اتفاق بين الباحثين لا على دوره، ولا على أهميته .. حتى لقد ذكر البعض منهم أن تراكم البرولين والجليسين بيتين يكون مصاحبًا بزيادة القدرة على تحمل الملوحة فى بعض الأنواع النباتية، إلا أن ذلك الأمر لا يحدث فى كل الحالات. كذلك ذكر البعض أن تراكم الجليسين بيتين فى النباتات يساعدها على زيادة تحملها للملوحة، ولكن ذلك التراكم ليس شرطًا لا غنى عنه لتحمل الملوحة فى النباتات الراقية.

كما أن دور البرولين فى التنظيم الأسموزى فى النباتات موضع جدل. فالبرولين يتراكم فعلاً فى النباتات التى تتعرض لظروف قاسية (وخاصة نقص الرطوبة الأرضية)، ولكن يبدو أن ذلك يحدث كاستجابة لصدمة أسموزية شديدة، أو — ربما — لسمية الأملاح.

ومن المعلوم أن المركبات النيتروجينية — مثل البرولين — تنظم بكفاءة عالية عملية تخزين النيتروجين الضرورى للنبات. ويعد البرولين مناسبًا لتحقيق هذا الهدف؛ لأنه نشط أسموزيًّا، ومتوافق مع مكونات السيتوبلازم، ويمكن أن يتحول بسهولة إلى حامض

الجلوتامك، وهو حامض أمينى مركزى فى عملية تنظيم تمثيل الأحماض الأمينية الأساسية الأخرى. وبذا.. فإن النبات المعرض للملوحة يمكنه استخدام البرولين كمخزون نيتروجينى،وفى التنظيم الأسموزى (عن Rains ١٩٨١).

إن قائمة المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم cytosolutes — فى النباتات الراقية — فى ازدياد مستمر، وتتضمن كحولات السكر sugar alcohols، والأحماض الأمينية الـ dipolar، ومشتقاتها. ومن الأمثلة الهامة لذلك مركب dimethylsulphonopropionate الذى يشيع وجوده فى الطحالب البحرية. وتوجد المركبات الـ Sulphonic فى النباتات الراقية، مثل: *Wedelia biflora*، و *Ulva lactuca* اللذين يتغير تركيز المركب فيهما بتغير تركيز الأملاح فى وسط نموهما.

زيادة كفاءة استخدام المياه

من الآليات الأخرى التى يمكنها منع فقد امتلاء الخلايا وزيادة كفاءة استخدام المياه زيادة مقاومة الأوراق (بوجود عدد أقل من الثغور، وزيادة مقاومة النسيج الوسطى، وزيادة سمك طبقة الأديم)، وزيادة نسبة الجذور إلى النموات الخضرية (Shannon ١٩٩٧).

ويتبين مما تقدم أن تحمل الملوحة يتوقف على مجموعة من الخصائص، هى:

١- مورفولوجى النبات.

٢- القدرة على تحديد تواجد الأملاح — التى تُعّدل بها جهدها المائى — فى الفجوات العصارية.

٣- القدرة على إنتاج وتراكم المركبات العضوية الذائبة المتوافقة فى السيتوبلازم.

٤- القدرة على تنظيم النتح.

٥- خصائص الأغشية الخلوية.

٦- القدرة على تحمل تواجد نسبة عالية من الصوديوم إلى البوتاسيوم فى السيتوبلازم.

٧- وجود الغدد الملحية التى تمكنها من التخلص من الأملاح المتراكمة فيها (Flowers & Flowers ٢٠٠٥).

تقييم النباتات لتحمل الملوحة

يُواجه المربى الذى يهتم بتحسين تحمل النباتات للملوحة بمشكلة كبرى، وهى أن صفة التحمل ليست صفة بسيطة، وإنما هى محصلة لعدة صفات تعتمد على أسس فسيولوجية مختلفة يصعب — غالبًا — تحديدها. إن الشكل الظاهرى النهائى للنبات (والمتمثل فى استجابته للملوحة) ربما لا يكون دليلاً على قيمته الوراثية الحقيقية — بالنسبة لتحمله للملوحة — لأن الصفات المفيدة يمكن أن يختفى دورها فى وجود عوامل أخرى؛ فيبدو النبات حساسًا.

إن تقييم النباتات لتحمل الملوحة — بزراعتها فى وسط ملحى — قد يترتب عليه إظهار بعض الاختلافات المورفولوجية المتوفرة، ولكن عدم ظهور اختلافات مورفولوجية لا يعنى عدم وجود تباينات مفيدة. ومن الأهمية بمكان التعرف على تلك التباينات؛ ليمكن جمعها فى تركيب وراثى واحد (Yeo & Flowes ١٩٨٩).

صعوبات التقييم لتحمل الملوحة

يواجه الانتخاب المباشر للتراكيب الوراثية المتحملة للملوحة — التى تقيم فى ظروف الحقل الطبيعية — مشاكل عدة، منها: عدم تجانس التربة فى ملوحتها، والتأثير الكبير للعوامل البيئية على استجابة النباتات للملوحة، والطبيعة الكمية لوراثة تحمل الملوحة، وتباين مراحل النمو النباتية — فى التركيب الوراثى الواحد - فى تحملها للملوحة، فمثلاً.. تزداد خاصية تحمل الملوحة فى كل من الطماطم والشعير والذرة والأرز والقمح بزيادة عمر النبات. كما وجد أن مواقع جينات الصفات الكمية

quantitative trait loci (اختصارًا: QTLs) المصاحبة لتحمل الملوحة فى مرحلة الإنبات فى الشعير والطماطم والـ *Arabidopsis* تختلف عن المواقع المصاحبة لتحمل الملوحة فى مرحلة مبكرة من النمو، ولم تُظهر النباتات التى انتخبت لقدرتها على الإنبات فى الملوحة العالية تحملاً مماثلاً للملوحة أثناء النمو الخضرى (عن Yamaguchi & Blumwald ٢٠٠٥).

إن من أبرز مشاكل تقدير القدرة على تحمل الملوحة تباينها باختلاف مرحلة النمو فالأرز – على سبيل المثال – يُعد حساسًا للملوحة خلال مرحلتى البادرة والإزهار، وبنجر السكر يعد متحملاً للملوحة خلال مراحل النمو المتأخرة، ولكنه حساس أثناء الإنبات، والذرة يعد متحملاً أثناء الإنبات، ولكنه أكثر حساسية خلال مرحلة البادرة، وتقل تلك الحساسية خلال مرحلة تكوين الكوز والحبوب. ولم تكن جهود تقييم تحمل الملوحة على أساس التحمل خلال إنبات البذور وبزوغ البادرات.. لم تكن ناجحة بصورة عامة؛ فالتحمل فى أحد مراحل النمو لا يرتبط بالتحمل فى مرحلة أخرى، ويتعين تحديد مصادر التحمل فى مختلف مراحل النمو، ثم محاولة الجمع بينها فى تركيب وراثى واحد.

كذلك تزداد صعوبة عملية التقييم لتحمل الملوحة بسبب التفاعل بين مختلف الصفات الكمية – التى تُعد دلائل لقياس تحمل الملوحة – والعوامل البيئية، والتى من أهمها: الحرارة، والرياح، والرطوبة النسبية، والضوء، والتلوث. فالحرارة العالية والرطوبة النسبية المنخفضة قد يقللا من تحمل المحصول للملوحة بخفضهم للحد الحرج للملوحة الذى يبدأ عنده الانخفاض الملحوظ فى المحصول بزيادة مستوى الملوحة عنه، مع زيادة فى شدة انحدار الانخفاض فى المحصول مع زيادة شدة الملوحة؛ بما يعنى حدوث انخفاضات جوهرية فى المحصول فى المستويات منخفضة نسبيًا من الملوحة.

ومن العوامل البيئية الأخرى التى يمكن أن تؤثر فى تقديرات تحمل الملوحة مستويات ثانى أكسيد الكربون المرتفعة والأوزون. إن الملوحة تجعل ثغور الورقة تحد من

حجم الهواء المتبادل مع البيئة الخارجية؛ الأمر الذى يُحسِّن — عادة — من كفاءة استخدام المياه إلى حد ما، ولكنه يقلل من كمية ثانى أكسيد الكربون التى يمكن للنبات تثبيتها لأجل النمو. وربما تؤدى زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى إلى معادلة الانخفاض فى كمية الهواء المتبادل، بحيث تبقى كمية ثانى أكسيد الكربون التى تصل للأنسجة النباتية عند معدلاتها الطبيعية. كذلك فإن نقص تبادل الغازات بفعل الملوحة يقلل من وصول ملوثات الهواء مثل الأوزون — حال وجودها — إلى الأنسجة النباتية، وبذا.. يقل أى تأثير سلبى للملوحة (Shannon ١٩٩٧).

كذلك فإن تحمل الملوحة يزداد فى ظروف الإضاءة الضعيفة عما فى الإضاءة القوية، وكذلك عند انخفاض تركيز الأكسجين الذى يؤدى — عند زيادة الملوحة — إلى إضعاف النمو النباتى (Hale & Orcutt ١٩٨٧).

ويكون من الصعب دائمًا تقييم الأصناف والسلالات والعشائر الانعزالية تحت ظروف الحقل؛ بسبب تباين شدة الملوحة بين أجزاء الحقل الواحد، والتفاعل الذى يمكن أن يحدث مع مختلف العوامل البيئية. ولذا.. فإن التقييم يجرى غالبًا فى مساحات صغيرة (small plots) يتم التحكم فيها، وإن كان ذلك لا يفيد — غالبًا — فى تقييم المحصول.

العمر المناسب للتقييم

قيم الباحثون النباتات لتحمل الملوحة فى مراحل مختلفة من نموها؛ بدءًا بمرحلة تشبع البذرة بالماء، ومرورًا بإنباتها (فى الدراسات المختبرية)، وبزوغ البادرات من التربة، ومراحل نمو البادرات، وتكوين الخلفات، والنبات البالغ. ولا يوجد اتفاق بين الباحثين حول العلاقة بين تحمل الملوحة ومرحلة النمو النباتى. ويمكن أن نجد فى داخل المحصول الواحد — مثل الشعير — اختلافات بين السلالات فى تحملها للملوحة فى مختلف مراحل نموها (Norlyn ١٩٨٠). كما أن طبيعة تحمل الملوحة — أى أساسها الفسيولوجى — يختلف باختلاف مرحلة النمو النباتى.

وقد أظهرت نتائج عديد من الدراسات أن الملوحة يمكن أن تقلل من سرعة إنبات البذور، بينما قد لا يكون لها تأثير فى نسبة الإنبات النهائية. كما أظهرت بعض النباتات تحملاً أكبر للملوحة فى طور البادرة عما فى مراحل النمو التالية، بينما كان العكس صحيحًا فى نباتات أخرى. ويصر بعض الباحثين على أن تحمل الملوحة فى مرحلة إنبات البذور هى أفضل دليل على تحمل النبات للملوحة؛ لأن عدم قدرة البذور على الإنبات فى وجود الملوحة يجعل أية قدرة محتملة لتحمل الملوحة — فى مراحل النمو اللاحقة لذلك — عديمة الجدوى إذا كانت زراعة النباتات فى أراضى ملحية، أو كان ريها بمياه يرتفع فيها تركيز الأملاح منذ البداية (عن Ramage ١٩٨٠).

إن القدرة على تحمل الملوحة تزداد مع التقدم فى العمر فى عديد من النباتات، منها: الطماطم، والشعير، والذرة، والأرز، والقمح. ولذا.. فإنه يوصى بتقييم تحمل الملوحة وإجراء الدراسات الوراثية على تلك الصفة لكل مرحلة من مراحل النمو بصورة منفردة.

ونجد فى الطماطم أن الأصناف التجارية تكون شديدة الحساسية للملوحة خلال مرحلتى إنبات البذور والنمو المبكر للبادرات، وذلك حتى فى التركيزات المنخفضة من الأملاح (حوالى ٧٥ مللى مول كلوريد صوديوم). تؤدى تلك الحالة إلى صعوبة الاعتماد على الزراعة بالبذور فى الحقل مباشرة نظرًا لأن الأملاح تتركز فى الطبقة السطحية من التربة؛ مما يؤدى إلى تأخر الإنبات وتباينه ونقص نسبته؛ الأمر الذى يكون له انعكاسات سلبية على العملية الإنتاجية، ويحتم — غالبًا — اللجوء إلى زراعة البذور فى المشاتل، مع ما يعنيه ذلك من زيادة فى تكلفة الإنتاج (Foolad ٢٠٠٤).

وفى المقابل وجد فى عديد من المحاصيل أن تحمل الملوحة فى طور البادرات يعكس — كذلك — قدرة على التحمل فى النباتات البالغة، وأمكن الاستفادة من تلك الحقيقة بنجاح كوسيلة للانتخاب لتحمل الملوحة فى كل من الذرة، والدخُن اللؤلؤى، والبرسيم الحجازى، وسبعة من محاصيل المراعى (عن Rao & McNeilly ١٩٩٩).

مقاييس تحمل الملوحة فى النباتات

الصفات التى يمكن إجراء الانتخاب على أساسها

إن التربية لتحمل الملوحة يمكن أن تجرى بالانتخاب لصفتين أساسيتين، هما: زيادة المقاومة لتثبيط النمو تحت ظروف الضغط الأسموزى العالى، وزيادة المقاومة لتراكم الملح بالنبات (Neumann ١٩٩٧).

وقد لا يكون مجرد النمو النباتى مجديًا لإجراء الانتخاب على أساسه لتحمل الملوحة، ويفضل — بديلاً عنه — الانتخاب لصفات محددة بسيطة، وقد يمكن — فيما يعد — تجميع تلك الصفات — معًا — فى تركيب وراثى واحد.

ومن أهم المقاييس التى استخدمت فى تقييم النباتات لتحمل الملوحة ما يلى:

١- معدل تشرب البذور بالماء معبرًا عنه بالزيادة فى وزن البذور، أو حجمها.

٢- نسبة الإنبات.

٣- سرعة الإنبات، علمًا بأن الملوحة تؤثر فى سرعة الإنبات بدرجة أكبر من تأثيرها فى نسبة الإنبات النهائية.

٤- بقاء البادرات حية تحت ظروف الملوحة.

٥- معدل نمو البادرات.

٦- الوزن الطازج للبادرات.

٧- تراكم المادة الجافة.

٨- النمو الجذرى والقمى.

٩- ارتفاع النبات.

١٠- القدرة على تكوين الخلفات.

١١- مساحة الأوراق.

١٢- موت الأوراق أو شيخوختها.

١٣- وزن المحصول الاقتصادى ومختلف مكوناته.

١٤- محتوى الأوراق من أيونا الصوديوم والكلوريد.

١٥- القدرة على امتصاص عنصر البوتاسيوم تحت ظروف الملوحة.

١٦- الحركة الدورانية للسيتوبلازم.

١٧- بلزمة الخلايا.

١٨- معدل التنفس.

١٩- القدرة على البقاء فى الظروف الملحية (عن Shannon ١٩٧٩، و Ramage ١٩٨٠).

ويجب أن يكون التقييم فى مرحلة معينة من النمو النباتى، وباستخدام مستوى معين من الأملاح، لا يكون تركيز الكالسيوم منخفضًا فيها. وبرغم أن النباتات التى تنتخب لتحمل الملوحة فى طور مبكر من النمو ربما لا تكون مقاومة فى مراحل أخرى متأخرة، إلا أن التقييم فى مراحل النمو المتأخرة يستلزم وقتًا وجهدًا أكبر، ويكون أكثر تكلفة، ويتطلب طرقًا للتقييم أكثر تعقيدًا.

وبرغم أن عديدًا من المركبات العضوية الذائبة تتراكم فى السيتوبلازم — فى النباتات التى تتحمل الملوحة لدى تعرضها لظروف الملوحة — إلا أنه لا يمكن الاعتماد على تلك الخاصية كوسيلة روتينية للتقييم للملوحة فى مختلف الأنواع النباتية؛ لاختلافها فى أنواع المركبات التى تتراكم فيها، ولاختلاف الآراء حول كون تلك المركبات وسيلة من جانب النبات لزيادة قدرته على تحمل الملوحة، أم أنها تتكون بسبب الأضرار التى تحدثها الملوحة العالية.

ومن بين الصفات التى يعول عليها، ويمكن الانتخاب لتحمل الملوحة على أساسها، ما يلى:

١– تراكم الصوديوم أو الكلورين فى الأوراق، ونسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم فيها:

لصفة تراكم الصوديوم أو الكلورين بالأوراق – مع الوقت – درجة عالية من التوريث، واستخدمت – بالفعل – فى تربية أصناف متحملة للملوحة من كل من الأرز والبرسيم الأبيض والبرسيم الحجازى. أما نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم العالية – وهى التى تستخدم أحيانًا كأساس للانتخاب – فقد يكون مردها إلى وجود اختلافات وراثية فى تنظيم امتصاص الصوديوم، وفى هذه الحالة لا يكون هناك داعٍ لأكثر من تقدير الصوديوم.

٢– تقدير نشاط الـ NHX1، وهو Na^+/H^+ antiporer الذى يعمل على تجميع الـ Na^+ فى الفجوات العصارية؛ بما يسمح بتراكم الصوديوم بالأوراق إلى تركيزات عالية دون الأضرار بها. وإنه لمن المعروف أن معظم الإنزيمات يُثبط نشاطها فى تركيزات لأيون الصوديوم تزيد عن ١٠٠ مللى مول، وهذا التركيز يعادل تقريبًا –٠,٥ مللى مول/جم وزن جاف (بافتراض محتوى مائى للورقة قدره ٥ جم H_2O لكل جرام مادة جافة). ويعنى ذلك أن الصوديوم لابد وأن يُحدد تواجده فى الفجوات العصارية – بعيدًا عن السيتوبلازم – حتى لا يؤثر فى الأنزيمات.

ولقد وجد أن من أهم خصائص النباتات المحبة للملوحة halophytes، مثل: *Atriplex spongiosa*، و *Suaeda maritima* هو قدرتها على تحديد تواجد الصوديوم فى فجواتها العصارية، حيث يصل تركيزه فى الأوراق إلى ٣,٥ مللى مول/جم وزن جاف (حوالى ٧٠٠ مللى مول)، علمًا بأن إنزيماتها لا تختلف فى حساسيتها للصوديوم – فى البيئات الصناعية – عن الأنزيمات المماثلة المستخلصة من نباتات حساسة للملوحة مثل الصوديوم والبسلة. أما النباتات العادية بالنسبة للحساسية للملوحة (glycophytes) فإن بإمكانها تحديد تواجد الصوديوم فى الفجوات العصارية إلى حد ما، حتى يمكن أن يصل تركيزه إلى ١ مللى مول/جم وزن جاف (حوالى ٢٠٠ مللى مول). وفى القمح.. يصبح الصوديوم سامًّا إذا زاد تركيزه بالأوراق عن ١,٢٥ مللى مول/جم وزن جاف (حوالى ٢٥٠ مللى مول).

ويبين جدول (٧-٢) التقنيات المكن استخدامها فى التقييم لتحمل الملوحة.

وراثة تحمل الملوحة

تتوفر دلائل قوية على أن تحمل الملوحة العالية فى النباتات صفة كمية، وأن مردها إلى عدة صفات تحتية قد تكون كل منها بسيطة فى وراثتها أو كمية. وتلك الصفات التحتية تتضمن القدرة على تحجيم تراكم الصوديوم والكلورين فى النسيج النباتى، وتفضيل اختيار امتصاص البوتاسيوم من بيئة عالية فى محتواها من الصوديوم.

جدول (٧-٢): التقنيات التى قد يمكن استخدامها فى تقييم النباتات لتحمل الملوحة (عن Munns وآخرين ٢٠١١).

التقنية	نوع الضرر الذى تعكسه التقنية	المزايا	فترة التقييم	الارتباط مع التحمل تحت ظروف الحقل
قياسات النمو النباتى الكلى: (الكتلة الحيوية أو معدل النمو النسبى)	ارتفاع الضغط الأسموزى أو تأثير الأيونات أو كلاهما	دليل على المحصول	٤- ٦ أسابيع	متوسط
استطالة الجذور	ارتفاع الضغط الأسموزى	سريع	١- ٢ أسبوع	منخفض
استطالة الأوراق	ارتفاع الضغط الأسموزى	سريع	أسبوعان	منخفض
الإنبات	ارتفاع الضغط الأسموزى	تقييم أعداد كبيرة بسهولة	أسبوع	منخفض أو معدوم
القدرة على البقاء	ارتفاع الضغط الأسموزى أو تأثير الأيونات أو كلاهما	إظهار التراكيب الوراثية المتحملة بوضوح	٢- ٨ أسابيع حسب مدى الشدُ	غير مؤكد
أضرار الأوراق (التسرب الأيونى والمحتوى الكلوروفيلى)	ارتفاع الضغط الأسموزى أو أو تأثير الأيونات أو كلاهما	لا يقضى على النبات	٢- ٤ أسابيع	لم يثبت
استشعاع الكلوروفيل	ارتفاع الضغط الأسموزى أو تأثير الأيونات أو كلاهما	لا يقضى على النبات ويمكن أجراءه فى الحقل	٢- ٨ أسابيع	لم يثبت
مزارع الأنسجة	ارتفاع الضغط الأسموزى أو تأثير الأيونات أو كلاهما		شهور	لا يوجد
صفات أيونية خاصة: (استبعاد الصوديوم، و K^+/Na^+)	تأثير الأيونات	لا يقضى على النبات	١- ٢ أسبوع	عالى

الفصل الثامن

تربية الخضر لمقاومة الأمراض

تُعد التربية لمقاومة الأمراض أحد أهم أهداف تربية الخضر، وهى التى نالت اهتمام المربين منذ بدايات القرن الماضى. ونتناول هذا الموضوع بالشرح من جانبين رئيسيين، هما: التقييم للمقاومة، ووراثة المقاومة. أما التفاصيل الكثيرة الأخرى المتعلقة بهذا الموضوع فيمكن الرجوع إليها فى حسن (٢٠٠٨).

الخصائص النباتية المؤثرة فى كفاءة عملية التقييم للمقاومة ونتائجها

تتأثر كفاءة التقييم لمقاومة الأمراض بعدد من العوامل التى يجب مراعاتها والاستفادة منها — إن وجدت — ليمكن تقييم أكبر عدد من النباتات فى أقصر وقت ممكن، وبأسهل طريقة ممكنة، ولتكون نتائج التقييم صحيحة، ويمكن تكرارها والاعتماد عليها فى انتخاب النباتات المقاومة خلال مراحل برامج التربية.

تأثير عمر النبات فى مقاومته للأمراض

تتأثر المقاومة فى كثير من الأمراض بعمر النبات، وهو أمر يجب وضعه فى الحسبان عند إجراء اختبارات التقييم، ومن أمثلة ذلك ما يلى (عن Yarwood ١٩٥٩):

١- تكون النباتات عمومًا أكثر قابلية للإصابة بالذبول الطرى فى طور البادرات، وبالأصداء فى عمر متوسط، وبالفطر رايزوبس *Rhizopus* فى طور الشيخوخة.

٢- تزداد مقاومة بعض الأمراض بتقدم النبات فى العمر، كما فى مقاوم البكتيريا *Erwinia* فى الخس، ومقاومة الفطر *Phytopthora* فى البطاطس.

٣- تزداد القابلية للإصابة ببعض الأمراض بتقدم النبات فى العمر، كما فى حالتى البياض الزغبى (*Pseudoperonospora*) فى الخيار أو البياض الدقيقى (*Erysiphe*) فى الخس.

٤- تزداد القابلية للإصابة بالمرض فى الأطور المبكرة والمتأخرة من النمو، بينما تزداد المقاومة فى الأعمار المتوسطة كما فى حالة المقاومة لفطر الفيوزاريم فى البطاطس.

٥- تزداد مقاومة المرض فى الأطور المبكرة والمتأخرة، بينما تزداد القابلية للإصابة فى الأعمار المتوسطة فى بعض الأمراض، كما فى حالة مقاومة البطاطس للبكتيريا *Erwinia*، ومقاومة الفاصوليا لكل من فطر الصدأ (*Uromyces*)، وفيرس موزايك التبغ.

وعمومًا.. يمكن — بشئ من التحفظ — القول بأن المقاومة للرميات الاختيارية Facultative Saprophytes تزيد بزيادة عمر أنسجة العائل، بينما تنخفض المقاومة للطفيليات الإجبارية Obligate Parasites بتقدم النبات فى العمر.

الارتباط بين مقاومة البادرات ومقاومة النباتات البالغة

يُفضل دائمًا إجراء اختبارات المقاومة للأمراض فى طور البادرة، حيث يمكن تقييم أعداد كبيرة من النباتات بسهولة، خلال فترة قصيرة، وفى مساحة صغيرة. ولا ضير فى ذلك إذا كان المرض من تلك التى تظهر على البادرات مثل الذبول الطرى، أما فى حالة الأمراض الخاصة بالنباتات البالغة فإنه يلزم توفر ارتباط قوى بين مقاومة البادرات ومقاومة النباتات البالغة؛ ليمكن إجراء التقييم فى طور البادرة. ومن أمثلة ذلك حالة المقاومة للفطر *Phytophthora parasitica* المسبب لمرض عفن الجذر والتاج الفيتوفثورى فى الطماطم، حيث قيّم Blaker & Hewitt (١٩٨٧) النباتات بعدوى البادرات وهى فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الأولى، وكان التقييم للمقاومة على أساس موت أو بقاء البادرات، ووجدا أن هذا الاختبار يفيد فى التنبؤ بمقاومة النباتات البالغة.

كذلك أوضحت دراسات Dickson & Hunter (١٩٨٧) أن سلالة الكرنب P1436606 تقاوم البكتيريا *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* — المسببة لمرض العفن الأسود — فى كل من طورى البادرة والنبات البالغ، وقد اكتشفا مقاومة هذه

السلالة لدى اختبارهما لمعظم أصناف وسلالات الكرنب العالمية التى تحتفظ بها وزارة الزراعة الأمريكية.

وقد توصل Thomas وآخرون (١٩٨٧) إلى أن شدة الإصابة بالبياض الزغبى فى القاوون على الورقتين الحقيقيتين الأولى والثانية (معبرًا عنها برقم زوجى تمثل فيه خانة الآحاد شدة الإصابة على الورقة الأولى، وتمثل خانة العشرات شدة الإصابة على الورقة الثانية) تحت ظروف الصوبة يمكن أن تستخدم فى التنبؤ بشدة الإصابة فى النباتات البالغة تحت ظروف الحقل.

ويذكر Lower & Edwards (١٩٨٦) أنه تجرى اختبارات — فى طور البادرة — لثمانية من المسببات المرضية فى الخيار، وهى:

نوع المسبب المرضى	المرض	المسبب المرضى
فطر	الأنثراكنوز	*Colletotrichum lagenarium*
فطر	البياض الزغبى	*Pseudoperonospora cubensis*
فطر	الذبول الفيوزارى	*Fusarium oxysporum*
فطر	الجرب	*Cladosporium cucumerinum*
فطر	البياض الدقيقى	*Sphaerotheca fuliginea*
بكتيريا	الذبول البكتيرى	*Erwinia tracheiphila*
بكتيريا	تبقع الأوراق الزاوى	*Pseudomonas lachrymans*
فيرس	موزايك الخيار	*Cucumber Mosaic Virus*

يجرى الاختبار ضد الذبول الفيوزارى بزراعة البذور فى أحواض مملوءة بالرمل الملوث بالفطر المسبب للمرض، ويجرى التقييم ضد مرضى البياض الدقيقى والموزايك فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الأولى أو الثانية، أما بقية المسببات المرضية.. فتجرى اختبارات التقييم لها فى مرحلة نمو الأوراق الفلقية.

هذا.. وقد لفت Rahe (١٩٨١) الانتباه إلى الحالات المرضية التى لا ترتبط فيها نتائج اختبارات المقاومة فى الحقل بنتائج الاختبارات المعملية.

وقد يُحدث المسبب المرضى الواحد مرضين مختلفين للمحصول الواحد، ولا يشترط — فى هذه الحالة — أن تكون المقاومة الوراثية واحدة لكلا المرضين. ومن أمثلة ذلك الفطر *Rhizoctona solani* الذى يصيب نباتات الخيار بمرضين هما: الذبول الطرى، وعفن الثمار الرايزكتونى (أو عفن وسط الثمرة Belly Rot)، حيث وجد Booy وآخرون (١٩٨٧) تباينًا كبيرًا بين ٣٥ سلالة من الخيار فى شدة إصابتها بالذبول الطرى التى تراوحت من ١,٥ إلى ٥,٩ على مقياس من صفر (لا توجد أية إصابة) إلى ٩ (موت النباتات)، بينما لم يجدوا أى ارتباط بين المقاومة لهذا المرض والمقاومة لعفن الثمار الرايزكتونى.

تقييم المقاومة على أساس أنها مرتبطة بصفات نباتية أخرى ظاهرة

من أبرز الأمثلة على الارتباط بين صفة المقاومة وصفة نباتية ظاهرة مقاومة البصل لمرض التهيب أو الاسوداد، حيث ترتبط المقاومة العالية بلون الأبصال الأحمر، والمتوسطة بلون الأبصال الوردى، بينما ترتبط القابلية للإصابة بلون الأبصال الكريمى والأبيض (عن Jones & Mann ١٩٦٣).

كذلك تبين وجود ارتباط بين جين الطماطم Pto المسئول عن المقاومة للبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* والحساسية للمبيد الحشرى العضوى الفوسفورى ليبايسيد Lebaycid (الذى يحتوى على المادة الفعالة fenthion). ففى عام ١٩٨٤ لاحظ H. Laterrot (Laterrot ١٩٨٥) وجود بقع كثيرة جدًّا ومتحللة على أوراق وأزهار جميع نباتات الطماطم الحاملة للجين Pto بعد أيام قليلة من رشها بالمبيد Lebaycid بهدف مكافحة صانعات الأنفاق *Liriomyza* sp.، واقترح متابعة الجين Pto فى عشائر التربية عن طريق اختبار حساسيتها للفنثيون fenthion. ولم يكن يعرف — حينئذٍ — ما إذا كانت الصفتان يتحكم فيهما جينين مرتبطين بشدة، أم أنهما كانا راجعين إلى تأثير متعدد للجين Pto، ولكن تبين بعد ذلك صحة الافتراض الأول، وأمكن فصل الجينين: Pto، و Fen عن بعضهما البعض (عن Pedley & Martin ٢٠٠٣).

إجراء اختبار التقييم بأكثر من سلالة من المسبب المرضى أو بأكثر من مسبب مرضى

إمكانية تقييم المقاومة لأكثر من سلالة من المسبب المرضى على النبات الواحد

يمكن اختبار مقاومة النبات الواحد لعدد من سلالات المسبب المرضى (فى حالة تلك التى تصيب الأوراق) بإحدى طريقتين، كما يلى:

١- بعدوى الأوراق المتتالية فى الظهور بسلالات مختلفة من المسبب المرضى، وهى طريقة أفادت مع صدأ الكتان، ولكنها أعطت نتائج متباينة مع فطريات أخرى.

٢- بعدوى الورقة الواحدة – فى مواضع مختلفة – بسلالات مختلفة من المسبب المرضى، وهى طريقة تفيد مع المسببات المرضية التى تحدث بقعًا صغيرة لا تكون محاطة بهالات صفراء كبيرة (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

إمكانية تقييم المقاومة لأكثر من مرض على النبات الواحد

يمكن فى حالة التربية لمقاومة عديد من الأمراض عدوى النبات الواحد بأكثر من مسبب مرضى، فمثلاً.. تمكن Frazier من عدوى نباتات الطماطم – فى تتابع – بكل من مسببات أمراض الذبول الفيوزارى (فطر)، والذبول المتبقع (فيرس)، وتبقع أوراق استمفيللم (فطر)، وتعقد الجذور (نيماتودا) (عن Andrus ١٩٥٣). إلا أنه يجب توخى الحرص عند إجراء اختبارات كهذه؛ إذ قد يوجد تنافس بين مختلف مسببات الأمراض، وقد تؤدى الإصابة بأحد الأمراض إلى جعل النبات أكثر مقاومة، أو أكثر قابلية للإصابة بأمراض أخرى.

ويعد التفاعل بين الفطر المسبب للذبول الفيوزارى ونيماتودا تعقد الجذور فى الطماطم من الأمثلة الكلاسيكية لتأثير التفاعل بين المسببات المرضية على المقاومة.

إن تعرض نباتات الطماطم للإصابة بنيماتودا تعقد الجذور (فى غياب الجين Mi) يهيئها ويجعلها عرضة للإصابة بالذبول الفيوزارى حتى فى وجود الجين I الذى يُكسب النباتات مقاومة لهذا المرض، وعليه.. فلو فُرِض وكان الانعزال فى كلا الجينين معًا (الانعزال للتركيب الوراثى Mimi Ii)، فإن الانعزال المتوقع فى وجود كلا المسببين المرضيين (نيماتودا تعقد الجذور *Meloidogyne incognita*، والفطر المسبب للذبول الفيوزارى *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) فى الجيل الثانى وهو: ٩: ٣ : ٣ : ١ (مقاوم لكليهما: مقاوم للنيماتودا وقابل للإصابة بالذبول: قابل للإصابة بالنيماتودا ومقاوم للذبول: قابل للإصابة بكليهما) يُحوَّر إلى ٩ : ٣ : ٤ (مقاوم لكليهما: مقاوم للنيماتودا وقابل للإصابة بالذبول: قابل للإصابة بكليهما)؛ ذلك لأن الفئة التى كان يفترض مقاومتها للذبول فقط تصبح — فى غياب جين المقاومة للنيماتودا — مع حدوث الإصابة بها — قابلة للإصابة بالذبول (عن Webster ١٩٨٥).

تأثير العوامل البيئية فى مقاومة النباتات للأمراض

تتأثر مقاومة النباتات للأمراض بعديد من العوامل البيئية سواء أكانت جوية (مثل: الحرارة، والرطوبة، والضوء) أم أرضية (مثل: درجة حرارة التربة، والرطوبة الأرضية، وقوام التربة، والعناصر الغذائية). كما يدخل موعد الزراعة ضمن العوامل البيئية المؤثرة فى المقاومة، لما لموعد الزراعة من علاقة مباشرة بمختلف العوامل البيئية. ويلزم التمييز بين تأثير العوامل البيئية السابقة للعدوى والإصابة المرضية، وتأثير العوامل أثناء حدوث الإصابة المرضية.

أولاً: تأثير العوامل البيئية السابقة للعدوى فى المقاومة

تؤثر الظروف البيئية السابقة للعدوى على قابلية النباتات للإصابة بالأمراض، وهو ما يعرف باسم Predisposition، كما يلى:

١- درجة الحرارة:

تتأثر قابلية النباتات للإصابة بالأمراض — كثيرًا - بدرجة الحرارة التى تتعرض لها النباتات قبل العدوى، ومن أمثلة ذلك ما يلى:

أ- يؤدى غمس جذور الطماطم فى الماء الساخن قبل العدوى بفطر الفيوزاريم إلى تقليل الإصابة بالذبول.

ب- يؤدى تعريض أوراق الفاصوليا لدرجة حرارة ٥٥°م لمدة ١٠ ثوان إلى خفض إصابتها بفيرس موزايك التبغ.

ج- يؤدى تعريض نباتات الفول الرومى والخس للصقيع إلى زيادة أضرار الإصابة بفطر *Botrytis*.

د- وجد أن تعرض النباتات لدرجة حرارة ٣٦°م — لمدة تتراوح من يوم إلى يومين — يزيد من قابليتها للإصابة بالفيروسات التى تنتقل ميكانيكيًّا (Yarwood ١٩٥٩).

٢- شدة الضوء والفترة الضوئية:

يؤدى تظليل النباتات، أو تعريضها للظلام إلى زيادة قابليتها للإصابة بالفيروسات التى تنقل إليها بالطرق الميكانيكية. وبرغم أن التظليل يقلل من سمك طبقة الأديم بخلايا البشرة؛ مما يجعلها أكثر قابلية للتجريح والإصابة بالطرق الميكانيكية، إلا أن الأمر ليس بهذه البساطة؛ إذ إن التعريض للظلام لمدة يوم واحد يكون فعالاً أيضًا فى زيادة القابلية للإصابة، بينما لا تكفى تلك الفترة لإحداث تغيرات أساسية فى أنسجة الورقة.

كذلك وجد أن خفض شدة الإضاءة قبل العدوى يزيد من قابلية الطماطم للإصابة بالذبول الفيوزارى، وقابلية الخس والطماطم للإصابة بالفطر *Botrytis*.

كما وجد أن تعريض نباتات الطماطم لنهار قصير قبل العدوى يزيد من قابليتها للإصابة بالذبول الفيوزارى.

٣- العناصر السمادية:

تؤثر جميع العناصر الغذائية — سواء أكانت عناصر كبرى، أم صغرى — فى قابلية النباتات للإصابة بالأمراض، وأهمها عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، التى يمكن إيجاز تأثيرها — السابق للعدوى — فيما يلى:

أ- تؤدى زيادة النيتروجين إلى زيادة القابلية للإصابة بالأمراض بصورة عامة، إلا أنها تقلل القابلية للإصابة بأمراض معينة؛ كما فى الذبول الفيوزارى فى الطماطم.

ب- تؤدى زيادة الفوسفور إلى زيادة القابلية للإصابة فى بعض الحالات، مثل: فيرس موزايك الخيار فى الخيار، وفيرس موزايك التبغ فى الفاصوليا، كما أنها تؤدى إلى ضعف القابلية للإصابة فى حالات أخرى؛ كما فى الذبول الفيوزارى فى الطماطم.

ج- تؤدى زيادة البوتاسيوم إلى خفض القابلية للإصابة بالأمراض بصورة عامة، إلا أنها تزيد القابلية للإصابة بأمراض معينة؛ كما فى الذبول الفيوزارى فى الطماطم.

ثانياً: تأثير العوامل البيئية السائدة أثناء وبعد العدوى فى المقاومة

من أهم العوامل البيئية المؤثرة فى المقاومة للأمراض فى النباتات ما يلى:

درجة الحرارة

لدرجة الحرارة تأثير فى مقاومة الأمراض فى النباتات، ومن أبرز الأمثلة على ذلك ما يلى:

أ- المقاومة للاصفرار (الذبول الفيوزارى) فى الكرنب

يتوفر نوعان من المقاومة للفطر *Fusarium oxysporum* f. *conglutinans* المسبب لمرض الاصفرار فى الكرنب؛ إحداهما كمية (طراز B) وتمثلها المقاومة التى توجد فى الصنف Wisconsin Hollander، والأخرى بسيطة (طراز A)، وهى توجد — مصاحبة للمقاومة الكمية — فى الصنف Wisconsin All Seaeons.

ويمكن التمييز بسهولة بين نوعى المقاومة بالتحكم فى درجة حرارة التربة أثناء اختبار المقاومة فى مرحلة نمو البادرة. ففى حرارة ثابتة مقدارها ٢٤°م .. تصاب جميع النباتات القابلة للإصابة، وكذلك جميع النباتات التى تحمل المقاومة الكمية، بينما لا تصاب النباتات التى تحمل المقاومة البسيطة، سواء أكانت أصيلة، أم خليطة. وإذا ارتفعت الحرارة إلى أكثر من ٢٨°م .. فإن جميع التراكيب الوراثية تصاب بالمرض، بما فى ذلك النباتات الحاملة للمقاومة البسيطة، ولا تكون المقاومة الكمية فعالة إذا ارتفعت حرارة التربة عن ٢٢°م، بينما إذا انخفضت الحرارة عن ٢٢°م .. فإنه لا تصاب سوى النباتات القابلة — وراثيًا — للإصابة، أى التى لا تحمل أيًا من طرازى المقاومة. وإذا استمر انخفاض الحرارة إلى ١٨°م .. تتوقف إصابة النباتات القابلة للإصابة كذلك.

ويمكن التمييز بين النباتات القابلة للإصابة والنباتات ذات المقاومة الكمية بإجراء اختبار المقاومة فى حرارة مقدارها ٢٤°م (عن Walker ١٩٥٧).

وقد احتفظت أصناف الكرنب المقاومة (التى أنتجها J. C. Walker ومعاونوه) بمقاومتها لأكثر من ٧٠ عامًا. واستخدمت تلك الأصناف كمصدر لمقاومة المرض فى عديد من برامج التربية. ولكن اكتشفت فيما بعد سلالة جديدة من الفطر فى كاليفورنيا (السلالة رقم ٢) كانت قادرة على إصابة النباتات الحاملة لطراز المقاومة البسيطة (طراز A) حتى عند انخفاض حرارة التربة إلى ١٤°م، بينما لم تكن السلالة الأولى قادرة على إحداث الإصابة فى تلك الظروف (Bosland & Williams ١٩٨٧).

وقد درس Bosland وآخرون (١٩٨٨) تأثير درجة حرارة التربة — عندما تراوحت من ١٠- ٢٤°م — على أعراض المرض، مع استخدام خمس سلالات فسيولوجية من الفطر المسبب للاصفرار. أجريت الدراسة فى أحواض زراعة خاصة temperature soil tanks، كما اختبرت عدة أصناف من الكرنب تحت الظروف الطبيعية فى كاليفورنيا فى حقول مصابة بالسلالة رقم ٢ من الفطر.

وقد أوضحت هذه الدراسة أن جميع السلالات المستعملة زادت قدرتها على إحداث الإصابة جوهريًا — فى عوائلها القابلة للإصابة — بارتفاع درجة حرارة التربة. وعند ١٠ °م.. أحدثت السلالة رقم ٢ من الفطر *F. oxysporum* f. *conglutinans* إصابة طفيفة فى صنف الكرنب Golden Acre، وأحدث الفطر *F. oxysporum* f. *raphani* إصابة طفيفة كذلك فى صنف الفجل White Icicle. وكانت المقاومة البسيطة (طراز A) فى الكرنب عالية الكفاءة ضد السلالة رقم ١ من الفطر المسبب للاصفرار، إلا أن كفاءة تلك المقاومة ضعفت ضد السلالة رقم ٢، مع ارتفاع حرارة التربة من ١٤ °م إلى ٢٠ °م، وفقدت المقاومة فاعليتها تمامًا فى حرارة ٢٢ °م، و ٢٤ °م. أما المقاومة الكمية (طراز B).. فقد كانت عالية الكفاءة ضد السلالة رقم ١ من الفطر فى حرارة ٢٠ °م، والأقل منها، بينما لم تكن فعالة ضد السلالة رقم ٢ إلا فى حرارة ١٠، و١٢ °م فقط.

٢- مقاومة نيماتودا تعقد الجذور فى الطماطم

تعد السلالة PI128657 من *S. peruvianum* هى مصدر المقاومة الأصلى لكل من *M. incognita*، و *M. javanica*، و *M. arenaria*. وقد نقل منها الجين Mi الذى يتحكم فى المقاومة لهذه الأنواع إلى جميع أصناف الطماطم التجارية المعروفة بمقاومتها للنيماتودا.

وقد أوضحت نتائج الدراسات التى قورنت فيها مقاومة هذه السلالة بمقاومة الصنف التجارى فى إف إن ٨ VFN8 أن مستوى تكاثر السلالة رقم ١ من *M. incognita* لم يختلف بينهما، سواء أكان الاختبار على ٢٥ °م، أم ٣٢ °م؛ مما يدل على أن الخلفية الوراثية للطماطم لم تؤثر فى المقاومة. كان كل من السلالة والصنف مقاومًا للنيماتودا فى حرارة ٢٥ °م، ولكنهما كانا قابلين للإصابة فى ٣٢ °م.

أما السلالة رقم PI126443 من النوع *S. glandulosum* والسلالة رقم PI270435 من النوع *S. peruvianum* (وكلاهما مقاوم لكل من *M. hapla*، و *M. incognita*)،

والسلالتان أرقام PI129152، و LA2157 من *S. peruvianum* (وكلاهما مقاوم للنوع *M. incognita* فقط) فقد كانت جميعها على درجة عالية من المقاومة للسلالة رقم ١ من *M. incognita* فى كل من درجتى الحرارة ٢٥ °م و ٣٢ °م. كما وجد أن سلالتين خضريتين (هما: 1-MH و 5-MH) من السلالة PI126440 للنوع *S. glandulosum* (وكلاهما مقاوم للنوع *M. hapla*) كانتا متوسطتين فى قابليتهما للإصابة بالنوع *M. javanica* فى ٢٥ °م وشديدتى القابلية للإصابة فى حرارة ٣٢ °م. وتدل هذه النتائج على وجود جين أو جينات أخرى غير الجين Mi تعطى مقاومة فى درجات الحرارة المرتفعة (Ammati وآخرون ١٩٨٦).

٣- المقاومة لفيرس موزايك الفاصوليا الأصفر فى البسلة

يتحكم فى مقاومة فيرس موزايك الفاصوليا الأصفر Yellow Bean Mosaic Virus فى البسلة عامل وراثى واحد يتأثر كثيرًا بدرجة الحرارة. فعند اختبار نباتات الجيل الثانى فى حرارة ١٨ °م أو أقل.. تظهر أعراض المرض على النباتات الأصيلة القابلة للإصابة فقط؛ وبذا.. تكون المقاومة سائدة. ولكن إذا اختبرت نباتات الجيل الثانى فى حرارة ٢٧ °م.. فإن أعراض المرض تظهر على جميع النباتات ما عدا النباتات الأصيلة فى صفة المقاومة فقط، وبذا.. تكون المقاومة متنحية. أى إنه يمكن عن طريق التحكم فى درجة الحرارة التمييز بين النباتات الأصيلة والنباتات الخليطة فى صفة المقاومة (Walker ١٩٦٦).

٤- المقاومة لفيرس موزايك الخيار فى السبانخ

إن نباتات السبانخ المقاومة لفيرس موزايك الخيار فى حرارة ١٦–٢٠ °م تظهر عليها أعراض جهازيه للمرض فى حرارة ٢٨ °م (عن Kiraly وآخرين ١٩٧٤).

الرطوبة الأرضية

ترتبط المستويات المرتفعة من الرطوبة الأرضية — عادة — بزيادة شدة الإصابة بالأمراض، وربما يرجع ذلك إلى أن توفر أغشية من الرطوبة يساعد على تحرك الجراثيم المتحركة. وبالنسبة لصفة المقاومة فإن التربة الغدقة تضعف المجموع الجذرى بالاختناق، مما يضعف مقاومته للأمراض.

اختبارات التقييم الحلقية

يعتمد إجراء اختبارات التقييم الحلقية على انتشار المرض فى الحقل إما بصورة طبيعية، وإما بعد إحداث عدوى صناعية بالمسبب المرضى.

الاعتماد على الأوبئة الطبيعية

تجرى اختبارات التقييم تحت الظروف الطبيعية فى المناطق والمواسم التى يتواجد فيها المرض بحالة وبائية، ومن أمثلة ذلك ما يلى:

١- تختبر سلالات بنجر السكر لمقاومة فيرس تجعد القمة فى الولايات المتحدة فى الحقول المجاورة للحبوب الصغيرة التى تتكاثر فيها نطاطات الأوراق الناقلة للفيرس. وفى الربيع.. تنتقل النطاطات الحاملة للفيرس من الحشائش المصابة إلى حقول التقييم؛ حيث تنقل إليها الفيرس، وتتكاثر عليها.

٢- تختبر سلالات البطاطس لمقاومة الندوة المتأخرة فى وادى تولكا Toluca بالمكسيك؛ حيث تتواجد عديد من سلالات الفطر المسبب للمرض فى المنطقة التى يسودها دائما جو مثالى لحدوث الإصابة (Russell ١٩٧٨).

٣- أكمن خلال موسمين من الإصابة الوبائية باللفحة النارية بولاية ميرلاند الأمريكية تقييم ٥٢٢ صنفًا من الكمثرى لمقاومة المرض، حيث أصيب ٨٨٪ منها بشدة، بينما كانت ٢٪ منها متوسطة القابلية للإصابة، و ٤٪ متوسطة المقاومة، و ٥٪ عالية المقاومة، و ٢٪ خالية تمامًا من أعراض للإصابة (Oitto وآخرون ١٩٧٠).

٤- أمكن تقييم أعداد كبيرة من أصناف وسلالات مزروعة وبرية بلغت ١٧٩٦ من جنس الطماطم .Solanum spp لمقاومة فيرس تجعد واصفرار أوراق الطماطم، و٩٦٨ من نوع القاوون *Cucumis melo*، و٤٥٧ من جنس البطيخ .*Citrullus* ssp لمقاومة فيرس اصفرار وتقزم القرعيات تحت ظروف طبيعية تنتشر فيها الذبابة البيضاء الحاملة لهذين الفيروسين بصورة وبائية (Hassan وآخرون ١٩٩٠، و ١٩٩١ أ، و١٩٩١ ب).

ويعيب على اختبارات التقييم للمقاومة تحت الظروف الطبيعية ما يلى:

١- يكون التقييم — دائمًا — لمقاومة خليط من سلالات المسبب المرضى، وليس لسلالة معينة منه. إلا أن التقييم يكون ضد جميع السلالات الهامة على أية حال، كما يمكن إجراء الاختبار فى مناطق معينة تنتشر فيها سلالات معينة من المسبب المرضى.

٢- احتمال إفلات بعض النباتات من الإصابة.

٣- احتمال زيادة أو نقص مستوى الإصابة بدرجة غير مقبولة.

٤- عدم القدرة على التحكم فى العمر النباتى الذى تجرى عنده الإصابة بالمسبب المرضى.

٥- احتمال الإصابة بأمراض أخرى، أو حشرات، أو التعرض لظروف بيئية قاسية يمكن أن تختفي أو تغير استجابة النباتات للإصابة بالمسبب المرضى المطلوب.

الاعتماد على العدوى الصناعية

يفضل عند إجراء العدوى الصناعية تحت ظروف الحقل زراعة نباتات مصابة بالمرض بين النباتات المختبرة لتكون مصدرًا دائما للعدوى، ويجرى ذلك — على سبيل المثال — فى اختبارات مقاومة القمح للفطر *Puccinia striiformis* المسبب لمرض الصدأ الأصفر، وبنجر السكر للفطر *Peronospora farinose* المسبب لمرض البياض الزغبى (عن Russell ١٩٧٨). أما توصيل المسبب المرضى بشكل مباشر إلى جميع النباتات فى الحقل، فإنه يتطلب كميات كبيرة من اللقاح.

ويلزم — فى حالة الأمراض التى تصيب أجزاء النبات الهوائية — إجراء العدوى فى الصباح الباكر، أو فى الأيام الملبدة بالغيوم. كذلك يحسن — فى الجو الجاف — رش النباتات بالماء بعد العدوى (عن Kiraly وآخرين ١٩٧٤).

ويمكن أن يستعمل فى اختبارات العدوى الحقلية رشاشات ظهرية فى المساحات الصغيرة، أو رشاشات محمولة على الجرارات عند ضغط ١٠ كجم/سم^{٢} فى المساحات الكبيرة، مع تنظيم وضع البشابير بحيث يرش كل خط من أعلى ومن جانبيه.

تجرى العدوى الحقلية فى بداية موسم النمو، وقد تكرر مرتين أو ثلاث مرات خلال الموسم، ويجب أن يتم ذلك فى وقت متأخر بعد الظهيرة حينما يكون من المتوقع حدوث ندى كثيف. كذلك يفيد تشغيل نظام الرى بالرش — إن وجد — على فترات متقطعة لمدة ٢–٣ أيام بعد العدوى — فى توفير رطوبة حرة لإنبات الجراثيم (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

وقد وجد Inglis وآخرين (١٩٨٨) أن استعمال اللقاح الجاف لحقن الفاصوليا بأى من الفطرين: *Colletotrichum lindemuthianum* المسبب للأنثراكنوز، أو *Phaeoisariopsis griseola* المسبب لتبقع الأوراق الزاوى كان مناسبًا لاختبارات التقييم تحت ظروف الحقل، بدلاً من الرش بجراثيم الفطر، الذى يتطلب تحضير المعلق الفطرى قبل وقت قصير من إجراء العدوى الصناعية، ويستلزم كميات كبيرة منه لعدوى المساحات الحقلية الكبيرة. وقد استعمل الباحثون إما أوراقًا جافة لنباتات سبق عدواها بالفطر فى الصوبة، وإما مزارع مجففة للفطر على بيئة خاصة هى: Perlite-cornmeal V-8 juice agar. عُفِّرَت النباتات فى الحقل بأى من مصدرى العدوى، وكان كلاهما بنفس كفاءة العدوى بمعلق جراثيم الفطر فيما يتعلق باختبارات المقاومة الحقلية.

وتتميز أمراض الجذور والحزم الوعائية بإمكان عدوى الحقل بالمسبب المرضى مرة واحدة، ثم تكرار زراعته بنفس العائل سنويًا لإجراء اختبارات التقييم فيه أثناء برنامج

التربية. فمثلا.. قام Wallace & Wilkinson (١٩٦٥) بإجراء اختبارات التقييم للفطر *Fusarium solani* f. *phaseoli* — المسبب لمرض عفن الجذور الجاف فى الفاصوليا — فى حقل كان قد سبقت عدواه بالفطر فى عام ١٩١٨، وزرع بالفاصوليا سنويا منذ ذلك الحين.

هذا.. ويمكن الاستفادة من عديد من طرق الحقن (العدوى الصناعية) التى يأتى ذكرها فى الجزء التالى، فى نشر الإصابة المرضية تحت ظروف الحقل لأغراض تقييم مقاومة الأمراض.

طرق الحقن (العدوى الصناعية) لتقييم المقاومة فى البيوت المحمية (الصوبات)

تختلف طرق العدوى الصناعية التى تتبع لأغراض التقييم لمقاومة الأمراض تحت ظروف البيوت المحمية — حسب المرض — كما يلى:

عدوى النموات الورقية

تحقن النموات الخضرية بمسببات الأمراض بعديد من الطرق؛ منها: الرش، والتجريح، والتعفير، والحك، واستخدام فرشاة ملوثة بالمسبب المرضى مع استعمال معلق جراثيم فطرية، أو جراثيم جافة، أو معلق بكتيرى، أو مستخلصات لنباتات مصابة بالفيرس فى حالة اختبارات المقاومة للفيروسات.

لا تتطلب معظم مسببات الأمراض التى تصيب الأوراق جروحًا لكى تُحدث الإصابة؛ إذا إن معظمها يخترق الأوراق عن طريق الثغور، أو مباشرة من خلال خلايا البشرة، أو عند أماكن التصاق خلايا البشرة المتجاورة. وعندما تحدث الإصابة من خلال الثغور تجب إضافة اللقاح إلى السطح الورقى الذى توجد به أقصى كثافة للثغور، مع تحضين النباتات فى ظروف تسمح ببقاء الثغور مفتوحة، وبإنبات الجراثيم أو الخلايا البكتيرية.

ونذكر — فيما يلى — طرق الحقن المتبعة فى هذا الشأن سواء أكانت طرقًا عامة، أم خاصة بمسببات مرضية معينة.

عدوى الأوراق الفلقية

تتم أحيانا عدوى الأوراق الفلقية بالمسببات المرضية بهدف الانتهاء من اختبار التقييم فى أيام قليلة بعد الإنبات مباشرة، وبذا.. يمكن تقييم أعداد كبيرة من النباتات فى وقت قصير، وفى مساحة صغيرة. وتجب فى هذه الحالة مقارنة النتائج المتحصل عليها من اختبار عدوى الأوراق الفلقية بنتائج اختبار آخر تحقن فيه النباتات بطريقة تماثل الإصابة بالطريق الطبيعى، حتى لا تكون نتائج الاختبار مضللة.

وأهم ما يعيب العدوى بهذه الطريقة أن الأوراق الفلقية ربما لا تحتوى على المنافذ الطبيعية للإصابة بالمسبب المرضى، ويترتب على ذلك تصنيف بعض النباتات أو الأصناف على أنها مقاومة، بينما هى قابلة للإصابة، أو العكس.

وقد اتبعت هذه الطريقة فى تقييم السبانخ لمقاومة فيرس الخيار رقم ١ Cucumber Virus 1 (Webb ١٩٥٥)، والطماطم لمقاومة البكتريا *Corynebacterium michiganense* المسببة لمرض التقرح البكتيرى (Hassan وآخرون ١٩٦٨).

عدوى الأوراق بالفطريات

بالنسبة للأمراض الفطرية التى تصيب الأجزاء الهوائية للنبات فإن العدوى الصناعية قد تجرى بالرش بجراثيم أو هيفات الفطر، وهى معلقة فى الماء، أو فى زيت معدنى، فتستخدم معلقات الفطر فى الماء فى حالة الفطريات الطحلبية، ولكن الماء يكون ضارًا لفطريات أخرى مثل فطريات البياض الدقيقى والأصداء، ولذا.. فإنها تعلق فى الزيوت المعدنية.

كما يمكن تعفير النباتات بالجراثيم الجافة للفطريات، وقد تستخدم لذلك فرشاة طلاء، أو أجهزة خاصة تُحمل فيها الجراثيم مع تيار من الهواء لتتوزع بتجانس على النباتات التى يُراد اختبارها. وغالبًا ما تخلط الجراثيم ببودرة التلك لتأمين تجانس توزيعها.

ويلزم فى كثير من الحالات إبقاء النباتات فى رطوبة نسبية عالية تقترب من ١٠٠٪ لمدة ١٢– ٢٤ ساعة بعد العدوى لتحفيز الإصابة والتجرثم. ويتحقق ذلك – تحت ظروف الحقل – إما عن طريق الرى بالرش، وإما بتنكيس نواقيس زجاجية على النباتات المعاملة، التى يُستفاد منها بعد ذلك فى انتشار الإصابة فى الحقل.

وقد أوضح Tu & Poysa (١٩٩٠) أن عدوى أوراق نباتات الطماطم التى يراد اختبارها لمقاومة مرض تبقع الأوراق السبتورى بفرشاة سبق غمسها فى معلق لجراثيم الفطر *Septoria lycopersici* كان أفضل من غمس الأوراق فى المعلق أو رشها به مباشرة. استخدم فى العدوى معلق لجراثيم الفطر بتركيز مليون جرثومة بكل ملليلتر.

وقد استخدمت فرشاة من شعر الجمل فى عدوى الأوراق من السطحين. وأعقب ذلك وضع الأصص المحتوية على النباتات المحقونة فى صوانٍ بها طبقة رقيقة من الماء، وتغطية النباتات بشريحة بلاستيكية، ثم تركها فى صوبة على حرارة ٢٤ ± ٢°م لمدة يومين. وقد ظهرت الاختلافات – فى شدة الإصابة – بين التراكيب الوراثية بعد ذلك بستة أيام أخرى، وكانت الإصابة متجانسة بدرجة أفضل مما كانت عليه الحال فى أى من طريقتى غمس، أو رش الأوراق فى معلق جراثيم الفطر.

عدوى الأوراق بالبكتيريا

يجب دائمًا التمييز بين الأعراض الطبيعية typical، وغير الطبيعية atypical عند عدوى الأنواع النباتية بمسببات الأمراض – خاصة البكتيرية منها – سواء أكانت الدراسة بهدف تحديد مدى العوائل، أو التقييم للمقاومة.

إن الأعراض غير الطبيعية تظهر – غالبًا – نتيجة لما يبديه النبات من مقاومة لهذه المسببات المرضية التى أدخلت فيه بوسائل صناعية خاطئة، أو نتيجة لاستعمال تركيزات عالية، وهى أعراض لا تظهر أبدًا فى الظروف الطبيعية. ولذا.. فإن اختيار طريقة العدوى وتركيز البكتيريا المناسبين أمران فى غاية الأهمية لتمييز النباتات المقاومة عن تلك القابلة للإصابة.

ويقدر أفضل تركيز للعدوى الصناعية، بالبكتيريا المسببة للأمراض بنحو ٥ × ١٠^٦ خلية بكتيرية أو أكثر من ذلك/ مل من المعلق البكتيرى؛ فعند استعمال هذا التركيز تكون كل خلايا أنسجة النبات المحقونة على اتصال بالطفيل.

وتفيد كثيرًا تهيئة الظروف التى تجعل ثغور الأوراق مفتوحة عند الحقن بالبكتيريا التى تُحدث بقعًا ورقية؛ ذلك لأن هذه البكتيريا تمر إلى المسافات التى توجد بين الخلايا من خلال الثغور المفتوحة. ولأجل هذا .. يمكن وضع النبات فى مكان رطب مظلل، كأن يوضع فوقه ناقوس زجاجى، أو يترك فى غرفة نمو رطبة لمدة ٢٤ ساعة قبل العدوى الصناعية. ويمكن زيادة الرطوبة النسبية حول النبات بوضع ورق نشاف مبلل بالماء داخل الناقوس الزجاجى أو فى غرفة النمو.

يستخدم فى العدوى الصناعية بالبكتيريا مزارع بكتيرية حديثة يتراوح عمرها من ٢٤-٤٨ ساعة. تغسل هذه المزارع بماء معقم، ويعدل تركيز المعلق البكتيرى حسب التركيز المطلوب الذى يتوقف على طريقة الحقن المتبعة، كما يلى:

١- رش المعلق البكتيرى على سطح النبات

يعتبر رش المعلق على الأوراق النباتية أفضل طريقة للعدوى الصناعية بالبكتيريا المسببة لتبقعات الأوراق؛ لأنها أقرب الطرق للعدوى الطبيعية. ويلزم فى هذه الحالة وضع النباتات فى حجرة نمو رطبة لمدة ٢٤ ساعة قبل إجراء العدوى، أو تعريضها للرش بالرذاذ mist لعدة ساعات قبل العدوى. وتتم العدوى برش السطح السفلى للأوراق — تحت ضغط منخفض — بمعلق بكتيرى يحتوى على أكثر من ٥ × ١٠^٦ خلية بكتيرية/ مل. ولا يخشى — فى هذه الحالة — من ظهور أعراض مرضية غير طبيعية لأن نسبة قليلة فقط من الخلايا البكتيرية التى توجد فى المعلق هى التى يمكنها المرور إلى المسافات البينية لخلايا النسيج الوسطى من خلال الثغور.

ونجد فى حالة عدم التوافق بين البكتيريا والنوع النباتى المستخدم أن البكتيريا تظهر نشاطها حول الثغور، حيث تظهر الأعراض غير الطبيعية فى مساحات ميكروسكوبية لا

تُرى بالعين المجردة. أما فى حالة التوافق.. فإن الإصابة يمكن أن تنتشر بدرجة كبيرة إلى أن تظهر الأعراض المميزة للمرض.

يمكن رش المعلق البكتيرى تحت ضغط، ولكن يجب أن يؤخذ فى الاعتبار نوع الرشاشة، وشدة الضغط، والمسافة بين الرشاشة والسطح الورقى؛ فمثلاً.. تستخدم الرشاشة الصغيرة جدًّا atomizer أو رشاشة الطلاء تحت ضغط ١,٥ كجم/سم[٢]، مع جعل الـ atomizer على مسافة ١٠ — ٢٥ سم من سطح الورقة. وبالمقارنة.. تستخدم artist's air brush تحت ضغط ٢,٥ — ٣,٠ كجم/سم[٢] مع جعلها على مسافة ٣- ٦ سم من سطح الورقة.

وإذا ما استعمل ضغط عالٍ فإن تركيز المعلق البكتيرى لا يجب أن يزيد عن ٥ × ١٠ [٦] خلية/ مل حتى لا تجبر البكتيريا على المرور إلى المسافات البينية لخلايا نسيج الميزوفيل من خلال الثغور، وحتى لا يتولد عن ذلك تكوين أجزاء أو بقع متحللة فى النباتات المقاومة — أو تلك التى لا تعد من عوائل البكتيريا — جراء الأضرار التى يُحدثها اصطدام محول الرش بالورقة تحت ضغط.

وتفيد إضافة المواد المحدثة للجروح abrasives إلى الأوراق قبل رشها باللقاح البكتيرى فى تجنب الحاجة إلى استعمال ضغط عالٍ عند الرش، وخاصة عند عدوى الأوراق المغلفة بطبقة شمعية. ويستخدم لأجل ذلك الكاربورندم (٣٠٠ — ٦٠٠ مش mesh)، ويلزم — حينئذٍ — حك معلق اللقاح بلطف على سطح الورقة — بعد رشه — بالإصبع أو باستعمال قطعة قطن أو قطعة من الشاش.

وبعد العدوى بالبكتيريا .. يمكن وضع النباتات مرة أخرى فى حجرة النمو الرطبة التى يجب أن تقترب رطوبتها من ١٠٠٪، فعلى سبيل المثال.. لم تظهر على أوراق الخيار التى حقنت بالبكتيريا *P. lachrymans* — المسببة لمرض تبقع الأوراق الزاوى — أية أعراض للإصابة عندما كانت الرطوبة النسبية ٨٠٪ — ٩٠٪ بعد العدوى، بينما ظهرت

أعراض المرض الطبيعية عندما كانت الرطوبة النسبية ٩٥٪ — ١٠٠٪. تترك النباتات المعداة في الرطوبة العالية لمدة ٦– ١٨ ساعة بعد العدوى الصناعية بالمسبب المرضى، ثم تنقل إلى بيت محمى بعد ذلك.

٢- حقن المعلق البكتيرى فى المسافات بين الخلايا

تتم العدوى فى هذه الطريقة بحقن المعلق البكتيرى فى المسافات البينية لخلايا الورقة باستعمال محقنة طبية. يسمح ذلك بإدخال عدد معلوم من الخلايا البكتيرية بتجانس تام فى المسافات البينية دون إحداث ضرر لنسيج الورقة. يجرى الحقن من السطح السفلى للورقة. وتزداد سهولة حقن الأوراق مع زيادتها فى العمر. ومن الضرورى أن يكون الجزء المائل من سن الإبرة — الذى توجد به الفتحة — إلى أسفل (أى تحت خلايا البشرة السفلى مباشرة) عند الحقن، وأن يكون الحقن بين عروق الورقة. وتسمح هذه الطريقة باختبار عدة سلالات بكتيرية على نفس الورقة أو على أوراق مختلفة من نفس النبات.

٣- حك الأوراق

يمكن إجراء العدوى بحك الأوراق التى سبق نثر الكربورندم عليها بقطعة من القطن أو الشاش يكون قد سبق غمسها فى المعلق البكتيرى.

يجب أن يزيد تركيز المعلق البكتيرى المستعمل عن مليون خلية بكل ملليلتر.

وبينما تفيد إضافة الكربورندم إلى المعلق البكتيرى المستخدم فى الرش فى زيادة شدة الإصابة، فإن ذلك قد يؤدى إلى ظهور بقع ومناطق متحللة غير طبيعية بالنباتات المقاومة.

٤- التثقيب الدقيق أثناء العدوى

من بين الطرق التى تتأكد معها حدوث الإصابة بالبكتيريا إحداث ثقوب كثيرة دقيقة فى السطح الذى يراد عدواه بالبكتيريا — سواء أكان ورقة، أم نسيج لحمى — وذلك قبل العدوى بالبكتيريا مباشرة، أو أثناءها. ويستعمل فى الجروح دبابيس دقيقة تبرز نهاياتها

(حوالى ٠,٥ سم) من قطعة فلين. وقد تستعمل قطعة الفلين (أو قطعة من الخشب أو الاستيروفوم) مباشرة أو تثبت فى أحد طرفى ماسك زجاجى، بينما تُثبت فى الطرف الآخر قطعة فلين أخرى بدون دبابيس حتى يمكن الضغط على الورقة بينهما. وتعرف هذه الطريقة باسم pin-prick method.

وقد جريت هذه الطريقة بنجاح فى أمراض البقع الورقية، والعفن الطرى، وأعفان الساق، والذبول والتفحمات.

ومن الطرق الأخرى المماثلة الناجحة وضع الورقة المراد عدواها بين الإبهام وورقة سنفرة (بها حبيبات رمل بقطر ٠,٢٠ — ٠,٣٥ مم مبللة بالمعلق البكتيرى) مع الضغط على الورقة قليلاً لإحداث بعض الجروح بها (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥، وعن Greenleaf ١٩٨٦).

ويمكن زيادة شدة الإصابة ببعض الأنواع البكتيرية المرضة للنباتات، مثل: *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* — على الطماطم — بمعاملة الأوراق قبل عدواها بالبكتيريا بمذيبات الشمع، مثل ١,٠٪ إثير بترولى، أو ٠,٠٠١ مولار أيدروكسيد بوتاسيوم أو أيدروكسيد صوديوم.

ويفيد مجرد الضغط على الأوراق بين الأصابع بعد غمسها فى المعلق البكتيرى فى إحداث الإصابة، إلاّ أن الأضرار التى قد تنشأ عن زيادة الضغط تجعل من الصعب تقدير شدة الإصابة كميًّا.

عدوى الأوراق بالفيروسات بطريقة الرش تحت ضغط

تعرف هذه الطريقة باسم Spray Gun Method، وهى شديدة الفاعلية مع بعض الفيروسات مثل فيرس موزايك التبغ. ويلزم عند اتباعها إضافة الكاربورندم إلى العصير الخلوى المستخدم فى العدوى الصناعية بنسبة ٥٪ بالحجم. ترش النباتات بقوة من على مسافة ٨—١٠ سم تحت ضغط ٤— ٧ كجم/سم^2. ويمكن بهذه الطريقة عدوى مئات النباتات الصغيرة فى دقائق معدودة (عن Greenleaf ١٩٨٦).

موجز لطرق عدوى الأوراق

يمكن إيجاز طرق إجراء العدوى (التلقيح أو الحقن) عن طريق الأوراق فيما يلى:

١- تعد أبسط الطرق لعدوى الأوراق هى برش معلق من جراثيم المسبب المرضى الفطرى أو الخلايا البكتيرية — وهى فى ماء معقم، أو فى زيت — على سطح الورقة. وعند استعمال الماء تجب إضافة مادة ناشرة مثل توين ٢٠ Tween 20 أو توين ٨٠ بتركيز ٠,٥٪، أو صابون سائل بتركيز ٠,١٪. ويتعين اختبار إنبات الجراثيم فى تلك المحاليل قبل إجراء اختبارات العدوى. تؤدى إضافة المواد الناشرة إلى زيادة أعداد الأوراق التى تُصاب فى كل نبات، وزيادة شدة الإصابة وتجانسها، وخفض التباين فى الأعراض المرضية. ونجد عند رش الأوراق المغطاة بغطاء شمعى بالمعلق الجرثومى فى الماء دون استعمال المواد الناشرة — مع تحضين النباتات فى جو رطب — أن الرطوبة الحرة التى تتجمع على الورقة تكوِّن قطرات كبيرة لا تلبث أن تتدحرج آخذه معها الجراثيم التى لم تنبت بعد، أو أنها تتجمع عند قاعدة الأوراق أو أطرافها، مما يحد من شدة الإصابة ويجعلها تتركز فى مكان واحد من الورقة.

وتفيد فى اختبارات عدوى الأوراق إضافة مواد لاصقة، مثل: الجيلاتين بتركيز ٠,٥٪ والآجار بتركيز ٠,١٪ — ٠,٢٪ وكربوكسى مثيل السيليلوز carboxymethyl cellulose بتركيز ٠,٢٪ — ٠,٥٪؛ فهذه المواد تقوم — إلى جانب لصق الجراثيم بسطح الأوراق — بمنع جفاف الجراثيم، كما توفر لها قليلاً من الغذاء لأجل إنباتها.

يستمر رش الأوراق حتى يقطر منها محلول الرش، ويستثنى من ذلك الحالات التى يتعين فيها حفظ النباتات — بعد عدواها — فى رطوبة عالية، كما فى حالة العدوى بمسببات البياض الزغبى؛ إذ يكفى معها الرش العادى الخفيف.

ويناسب الرش على نطاق ضيق استعمال رشاشة صغيرة يتم توصيلها بمصدر لتوليد ضغط قدره ١-١,٥ كجم/سم^{٢}، وهو الذى يعطى زذاذ دقيق مناسب للعدوى. أما فى المساحات

الكبيرة، فيمكن استعمال رشاشة طلاء تُوصَّل بمصدر لتوليد الضغط مع توصيلها — كذلك — بمصدر اللقاح باستعمال أنبوبة مطاطية طويلة، أو قد تستعمل رشاشة حقلية لهذا الغرض.

أما استعمال الزيوت غير السامة للنباتات كمعلقات للجراثيم فإنه يفيد — خاصة — مع الجراثيم الجافة، باستثناء الجراثيم الكونيدية لفطريات البياض الدقيقى، وهى التى تفقد قدرتها على إحداث الإصابة لدى تعليقها فى الزيوت. وتستخدم الزيوت — خاصة — فى عدوى النجيليات بفطريات الأصداء.

٢- العدوى باستعمال الجراثيم المحمولة فى بودرة التلك:

يفيد حمل البذور فى بودرة التلك فى عدوى الأوراق بالجراثيم الجافة، ولكنها تتطلب كميات كبيرة من الجراثيم مقارنة باستعمال معلقات الجراثيم فى الماء أو فى الزيت. وتتبع هذه الطريقة — خاصة — فى حالة العدوى بفطريات الأصداء، ويجرى ذلك باستعمال عفارة خاصة، مثل DeVillbis powder insufflator أو cyclone spore collector. تقوم العفارة الأخيرة بتجميع الجراثيم من الأوراق المصابة، ثم — باعكاس اتجاه تيار الهواء — تقوم بتعفير تلك الجراثيم — وهى مختلطة بالتلك — على الأوراق التى يرغب فى عدواها. ويلى التعفير تحضين النباتات فى رطوبة عالية. وقد ترش النباتات بالماء أولاً — تحت ضغط — قبل تعفيرها بالجراثيم مع التلك.

٣- يفيد هز الأوراق المصابة على النباتات التى يرغب فى عدواها — أو حكها بها — فى إحداث العدوى بالمتطفلات الإجبارية، مثل فطريات البياض الدقيقى. وفى حالة استعمال هذه الطريقة مع فطريات الأصداء فإن النباتات ترش بالماء أولاً قبل حك الأوراق المصابة بها، ولا يجوز اتخاذ هذه الإجراء (الرش بالماء) مع فطريات البياض الدقيقى، أما فى حالة فطريات البياض الزغبى التى تُنتج جراثيمها ليلاً، والتى تكون حساسة للجفاف، فإن الأوراق التى تظهر عليها الجراثيم تجمع من الحقل فى الصباح أثناء وجود الندى، وتوضع على اتصال مباشر بأوراق النباتات التى يراد اختبارها.

٤- يفيد غمس الأوراق فى معلق لجراثيم الفطر فى اختبار أعداد كبيرة من البادرات التى تكون نامية فى أصيص واحد (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

العدوى عن طريق السيقان والجذور والأسطح المقطوعة

تُجرى العدوى (الحقن) عن طريق السيقان فى اختبارات المقاومة لأمراض الذبول الوعائية. وعلى الرغم من إمكان إتباع هذه الطريقة — كذلك — مع أمراض أعفان الجذور، والذبول الطرى، وعفن الرقبة، وعفن قاعدة الساق، والتقرحات، إلاّ أنه يتعين الحرص فى تفسير نتائجها لأن مقاومة مختلف الأعضاء النباتية قد تختلف بالنسبة للمسبب المرضى الواحد.

العدوى عن طريق السيقان

من بين الطرق الشائعة لحقن السيقان، ما يلى:

١- عمل قطع عمودى بطول ١-١,٥سم بالساق باستعمال مشرط حاد، ثم إضافة جزء صغير من مزرعة المسبب المرضى إليه. يجرى هذا القطع فى حالة أمراض الجذور التى تصيب السيقان على ارتفاع ٢-١٠سم من سطح التربة. ويلى إضافة المسبب المرضى تغليف مكان الجرح جيدًا.

٢- غرز عود أسنان toothpick ملوث بالمسبب المرضى فى ساق النبات حتى عمق ١-٢سم ثم قطع الجزء البارز منه وتغليفه جيدًا.

٣- غرز إبرة تشريح فى ساق النبات عند العقدة الثانية فوق عنق الورقة مباشرة، ثم إضافة نقطة من معلق جراثيم المسبب المرضى فى إبط الورقة بحيث تغطى مكان الجرح.

وفى حالة الأمراض البكتيرية فإن نقطة المعلق البكتيرى تضاف قبل غرز الإبرة.

٤- العدوى بالمسببات المرضية البكتيرية بقطع أعناق الأوراق الصغيرة أو القمة النامية للبادرات ثم إضافة البكتيريا على مكان الجرح باستعمال ماصة أو فرشاة.

٥- تتبع كذلك طريقة حقن الساق باستخدام إبرة محقنة (سرنجة) سبق غمسها فى معلق المسبب المرضى، وذلك حتى عمق ٢ مم، فوق الأوراق الفلقية مباشرة، حيث تنسحب نقطة المعلق الجرثومى للمسبب المرضى الموجودة بالإبرة إلى داخل ساق النبات لدى سحب الإبرة (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

العدوى بالبكتيريا بطريقة الوخز Pricking

يمكن عدوى السيقان أو الأجزاء اللحمية للنباتات بالبكتيريا بوخزها بإبرة أو تجريحها بمشرط سبق غمسه فى معلق للبكتيريا التى يُراد استخدامها فى العدوى، وهى أفضل الطرق للعدوى بأمراض الذبول البكتيرية وأعفان أعضاء التخزين. وتظهر أعراض الذبول الطبيعية عند اتباع هذه الطريقة أيًّا كان تركيز البكتيريا فى المعلق المستخدم.

ولعدوى أعداد كبيرة من النباتات بطريقة الوخز.. تثبت الإبرة وسط فرشاة بحيث يكون سن الإبرة دون مستوى أطراف شعر الفرشاة بقليل. وبغمس الفرشاة فى المعلق البكتيرى.. يمكن ضمان تلوث الإبرة بالبكتيريا بالقدر المناسب أثناء عدة وخزات متتالية. ويتم وخز النباتات الصغيرة — فى حالات أمراض الذبول — فى المنطقة التى تقع مابين الأوراق الفلقية والورقة الأولى.

وقد استخدم Hassan وآخرون (١٩٨٦) هذه الطريقة فى تقييم الطماطم لمقاومة البكتيريا *C. michiganense* المسببة لمرض التقرح البكتيرى.

العدوى بالبكتيريا عن طريق الأسطح المقطوعة

تجرى العدوى بأمراض الذبول البكتيرية بقطع نحو ١-٢سم من الجذور، ثم غمسها — بعد ذلك مباشرة — فى المعلق البكتيرى المناسب لمدة ساعتين، ثم تشتل النباتات فى التربة.

كما قد تجرى العدوى فى حالة أمراض الذبول أيضًا بطريقة أخرى تكسر فيها أعناق بعض الأوراق الصغيرة، أو بعض الفروع الصغيرة، ثم يوضع المعلق البكتيرى على مكان القطع بواسطة فرشاة أو ماصة.

وتجرى العدوى فى حالات أمراض الأعفان الطرية بعمل قطع فى عضو التخزين (الثمرة أو الجذور، أو الدرنة... إلخ) بمشرط أو نصل سكين معقم، ثم يوضع المعلق البكتيرى على مكان القطع. وتوضع الأعضاء النباتية المحقونة بهذه الطريقة فى مكان رطب لمدة ٤٨ ساعة بعد الحقن (Kiraly وآخرون ١٩٧٤).

العدوى عن طريق الجذور

تحدث الإصابة الطبيعية والصناعية بأمراض الجذور والحزم الوعائية عن طريق التربة، ولكن العدوى الصناعية بأمراض الحزم الوعائية يمكن إحداثها عن طريق كل من الجذور والسيقان على حدٍّ سواء، كما يلى:

١- تجرى العدوى الصناعية عن طريق التربة فى حالات الأمراض التى تحدث الإصابة الطبيعية فيها عن طريق الجذور، وتعيش مسبباتها فى التربة، مثل أمراض الذبول، وأعفان الجذور، وتتألل الجذور فى الصليبيات، وتتألل البطاطس ... إلخ. تجرى العدوى الصناعية لتربة الحقل، أو الصوبة بالمسبب المرضى، ويحافظ على اللقاح فيها باستمرار زراعة صنف قابل للإصابة بهذا المسبب المرضى سنويًّا.

٢- لا يلزم فى معظم أمراض الذبول تقطيع الجذور لكى تحدث الإصابة، إلا أنه يُنصح بهذا الإجراء أحيانًا لزيادة تجانس الإصابة (Walker ١٩٦٦)، كما يكون التجريح ضروريًّا فى حالات أخرى كما فى الذبول الفيوزارى فى البطاطا، حيث يوصى – عند إجراء اختبار التقييم للمقاومة – بغمر قواعد العقل الطرفية لسيقان البطاطا فى معلق لجراثيم الفطر، مع هرس تلك القواعد بآلة حادة (Hanna وآخرون ١٩٦١).

٣- يفضل إجراء اختبارات التقييم للنيماتودا – بالنسبة للأنواع النباتية التى يسهل شتلها – فى صوانى إنتاج شتلات speedling trays تُملأ عيونها بمخلوط زراعة يتكون من البيت موس والفيرميكيوليت. تستعمل لأجل ذلك صوانٍ ذات عيون واسعة

لكى تسمح بتكوين نمو جذرى جيد يكون من السهل تقييمه جيدًا. يضاف إلى كل عين ٢٠٠٠ بيضة عند زراعة البذور أو عند وضع البادرات فيها. توضع الصوانى على سنّادات حديدية أو من قوالب الطوب لكى لا ترتكز على الأرض؛ وبذا يسهل تقليم جذورها التى تبرز منها (عن Fassuliotis ١٩٨٥).

٤- بينما يسهل عدوى المجموع الجذرى للنباتات التى تشتل - مثل الطماطم والفلفل - حيث يغمر المجموع الجذرى فى معلق للمسبب المرضى قبل الشتل، فإنه قد يستحيل إجراء ذلك بالنسبة للمحاصيل التى يصعب شتلها مثل الفاصوليا. وقد تغلب Wallace & Wilkinson (١٩٦٥) على هذه المشكلة عند تقييمها الفاصوليا لمقاومة الفطر *F. solani* f. *phaseoli* المسبب لمرض عفن الجذور الجاف بإجراء اختبارات التقييم فى أصص بقطر ١٥ سم مثبت فى قمتها حلقة ورقية (مبطنة بالبوليثيلين) بارتفاع ٦ سم، وتملأ بالفيرميكيوليت. تزرع البذور على سطح التربة فى الأصيص، ثم يضاف الفيرميكيوليت. بعد الإنبات.. تجرى العدوى بإضافة معلق جراثيم الفطر إلى الفيرميكيوليت. وعند تقييم النباتات .. تزال الحلقة الورقية وما بداخلها من فيرميكيوليت، ثم تقدر درجة الإصابة فى السويقة الجنينية السفلى للنباتات، حيث يمكن - حينئذ - التخلص من النباتات القابلة للإصابة والإبقاء على النباتات المقاومة. وقد اتبعت هذه الطريقة فى دراسة المقاومة لكل من مرضى العفن الجاف والعفن الأسود فى الفاصوليا (Hassan وآخرون ١٩٧١ أ، ب).

٥- تزداد المشكلة تعقيدًا بالنسبة للنباتات الصعبة الشتل - كالفاصوليا - حينما لا يكون هناك مناص من فحص الجذور لتقدير شدة الإصابة، حيث يتعذر حينئذٍ الاستفادة من النباتات المقاومة بعد تقليعها - لفحص جذورها - خاصة وأن عملية التقييم لا يمكن إجراؤها قبل مضى شهر أو شهر ونصف الشهر من زراعة البذور.

وقد توصل Wyatt وآخرون (١٩٨٠) إلى طريقة تسمح بالاستفادة من النباتات المرغوب فيها المنتخبة، والمحافظة عليها، ليمكن تهجينها، أو تركها لتتلقح ذاتيًا.

وتتلخص تلك الطريقة فى عدوى تربة "البنشات" فى الصوبة، وزراعة الفاصوليا فى أصص من البيت موس أو الفخار مملوءة بتربة غير معدية بالنيماتودا، ثم دفن هذه الأصص فى تربة (البنش). تنمو – نتيجة لذلك – بعض الجذور من الثقوب التى توجد بأسفل الأصيص، حيث تتعرض للإصابة بالنيماتودا، وبذا.. يمكن تقييمها مع الإبقاء على النباتات المقاومة التى تحتفظ بجذورها فى الأصص.

وقد تمت عدوى تربة (البنشات) فى الطريقة السابقة بمعلق من بيض النيماتودا *M. incognita* فى قاع حُفَر عمق كل منها ١٠سم، وقطرها ٨سم وموزعة كل ٢٠سم فى صفوف تبعد عن بعضها البعض بمقدار ٣٠سم، بحيث يصل إلى كل حفرة نحو ١٢٠٠ بيضة من النيماتودا. وكانت أصص البيت المستخدمة فى الزراعة بقطر ٧,٦سم، وثُقِّبت من القاع بقطر ٢,٢سم. وضعت هذه الأصص فى الحفر التى أضيف إليها اللقاح فى تربة (البنشات). وزرع بكل أصيص ثلاث بذور، ثم أجريت عملية الخف على نبات واحد بعد الإنبات. وقد سُجلت شدة الإصابة على الجذور التى نمت من قاع الأصص بعد ٣٥، و ٤٥، و ٥٥ يومًا من زراعة البذور.

كذلك استخدمت أصص فخارية زرعت فيها بذور سبق استنباتها على مهاد ورقية إلى أن وصل طول النمو الجذرى فيها إلى ٦–٨سم، مع إبراز طرف الجذير من قاع الأصيص قبل تغطية البادرة بالتربة. وقد كانت تلك الطريقة أفضل من طريقة أصص البيت؛ لأن الجذور كانت نافذة من قاع الأصص منذ البداية، وكان التقييم – فى جميع النباتات – على الجذر الرئيسى، وبذا.. فإنه كان متجانسًا.

وكان من أبرز عيوب تلك الطريقة ما يلى:

أ– اعتمد التقييم – فى الحالات التى لم ينفذ فيها الجذر الرئيسى من قاع الأصيص – على إصابة الجذور الرفيعة التى نفذت من القاع؛ الأمر الذى لا يجعل التقييم دقيقًا.

ب-نادرًا ما أصيبت الجذور التى نفذت من جوانب الأصص بالنيماتودا، حيث لم يتوفر لها الوقت الكافى لذلك.

ج-لم تتحمل أصص البيت تأخير عملية التقييم إلى ٤٥ أو ٥٥ يومًا من الزراعة؛ حيث كان من الصعب تداول الأصص آنذاك، وغالبًا ما أضير المجموع الجذرى للنباتات عندما نُزعت الأصص من مكانها فى تلك المرحلة، حيث ذبلت النباتات، إلا أنها عادت إلى حالتها الطبيعية خلال يوم أو يومين عندما كان الفحص بعد ٣٥-٤٥ يومًا من الزراعة.

ويلجأ البعض إلى تقييم نباتات الفاصوليا لمقاومة نيماتودا تعقد الجذور عندما يبلغ عمرها خمسين يوما، وذلك عندما تكون القرون ناضجة جزئيًا، ولكن يعيب على تلك الطريقة ما يلى:

أ- تكون البذور التى تنتجها تلك النباتات ضعيفة، وتعطى بادرات بطيئة النمو، مقارنة بالبذور المكتملة النمو.

ب- لا تسمح هذه الطريقة بتلقيح النباتات المنتخبة رجعيًّا، أو مع نباتات أخرى مرغوب فيها.

ج- قد تتعرض جذور النباتات المنتجة — فى تلك المرحلة من النمو — للإصابة ببعض الفطريات المسببة للعفن، مما يحدث تلفًا فى قشرة الجذور يصعب معه التقييم للمقاومة.

ومن الطرق الأخرى التى استخدمت لتقييم نباتات الفاصوليا لنيماتودا تعقد الجذور إجراء الزراعة والعدوى الصناعية فى أحواض زجاجية شفافة؛ كتلك التى تستخدم فى دراسات نمو الجذور، وبذا.. يمكن ملاحظة تكوين الثآليل مباشرة.

موجز لطرق عدوى الجذور

يمكن تلخيص طرق إجراء العدوى (التلقيح أو الحقن) عن طريق الجذور فيما يلى:

١- الزراعة فى أرض مصابة طبيعيًا أو سبق تلويثها بالمسبب المرضى.

٢- استخدام المزارع المائية:

عند اتباع طريقة المزارع المائية تُنتج البادرات أولاً فى بيئية معقمة، ثم تُنقل إلى محلول مغذٍ. وقد تُحقن الجذور بالمسبب المرضى إما بغمسها فى معلق منه قبل نقلها إلى المحلول المغذى، وإما بإضافة المسبب المرضى إلى المحلول المغذى ذاته. وغالبًا ما يُستعمل محلول هوجلند المغذى، ولكن بربع أو بنصف تركيزه القياسى. يفيد التركيز المنخفض فى سرعة ظهور الأعراض المرضية، إلا أن التركيز الشديد الانخفاض قد يؤدى إلى ظهور أعراض نقص بعض العناصر، وهى التى قد تختلط على بعض الأعراض المرضية.

٣- طريقة غمس الجذور:

يمكن اتباع طريقة غمس الجذور فى معلق المسبب المرضى مع غالبية المسببات التى تصيب الجذور. يتم إنتاج البادرات أولاً فى بيئة معقمة، ثم تغمس جذورها فى معلق من جراثيم المسبب المرضى لمدة تتراوح بين ساعة واحدة إلى ٢٤ ساعة حسب العائل والمسبب المرضى. يلى ذلك شتل البادرات فى بيئة مناسبة. وتؤثر فترة الغمس على الشدة التى تظهر بها أعراض المرض.

٤- طريقة القطع والغمس:

تستخدم طريقة قطع الجذور قبل غمسها فى معلق المسبب المرضى فى اختبارات المقاومة لمسببات الذبول، ولكنها تُميِّز فقط بين المستويات العالية والمنخفضة من المقاومة. ولإجراء هذه الطريقة يُقطع نحو ٣-٤سم من أطراف جذور البادرات التى يكون قد سبق إنتاجها فى بيئة معقمة، وذلك قبل غمسها فى معلق المسبب المرضى، ثم شتلها. وفى حالة البكتيريا المسببة للذبول الوعائى تُقطع الجذور على بعد سنتيمتر واحد من أطرافها، ثم تُغمس فى المعلق البكتيرى لمدة ١٠-٦٠ ثانية، أو تقطع الجذور أثناء غمسها فى المعلق. وقد يجرى الحقن بقطع أطراف جذور البادرات ثم شتلها فى صوانى الشتلات مع إضافة حوالى ٢-٤ مل من المعلق لكل عين قبل الشتل فيها. كذلك فإن الجذور قد تُجرَّح أثناء غمسها فى المعلق البكتيرى.

٥- طريقة التجريح العميق:

تتبع طريقة التجريح العميق للجذور مع مسببات أمراض الذبول الوعائية، وفيها يغمد مشرط عدة مرات فى الكومبوست المحيط بجذور البادرات، ثم يضاف معلق جراثيم المسبب المرضى. ويفيد منع أو تقليل الرى قبل العدوى فى زيادة احتفاظ بيئة الزراعة بمعلق المسبب المرضى عند إضافته.

٦- حقن الجذور الخشبية الكبيرة:

عند الرغبة فى حقن الجذور الخشبية المسنة يتم تتبعها نحو نهاياتها حتى نصل إلى النقطة التى تكون فيها الجذور بقطر ١-٢ سم، حيث تُزال من الجذور شريحة سطحية بطول سنتيمتر واحد بامتداد أحد جوانبه، ويلى إضافة جزء من بيئة أجار للمسبب المرضى، ثم تغطيتها جيدًا، وربطها قبل ردم التربة على الجذر مرة أخرى.

٧- حقن الجذور دون التأثير على وضعها الطبيعى فى التربة:

قد تؤدى عملية الشتل إلى إحداث أضرار بالجذور؛ مما قد لا يمثل العلاقة الطبيعية بين العائل والمسبب المرضى فى بعض الحالات. وفى حالات كهذه تجرى العدوى بإضافة معلق المسبب المرضى إلى بيئة نمو الجذور مباشرة، أو تُخلّص الجذور من بيئة الزراعة بحرص شديد حتى لا تتقطع، ثم تُرش بمعلق جراثيم المسبب المرضى أو تغمس فيه قبل إعادة زراعتها من جديد.

وبالإضافة إلى الطرق التى تقدم بيانها فإنه يمكن توفير المسبب الذى يصيب النبات عن طريق الجذور بتلويث البذور سطحيًا به.

تتبع تلك الطريقة فى اختبارات المقاومة لبعض أمراض أعفان الجذور، وتتم بتطهير البذور سطحيًا، ثم نقعها فى معلق مركز للمسبب المرضى لمدة ساعة واحدة إلى ٢٤ ساعة، ثم زراعتها (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

عدوى البذور

تتبع طريقة عدوى البذور فى اختبارات المقاومة لأمراض البذور، والأمراض التى تنتقل عن طريق البذور، وأمراض الذبول الطرى السابق للإنبات والتالى له، وأعفان الجذور، وأعفان قاعدة الساق، والأمراض ذات الطبيعة الجهازية مثل التفحمات. ويعتبر استخدام الجراثيم أفضل من الغزل الفطرى، كما تعتبر العدوى تحت تفريغ (١٥٠-٢٠٠مم زئبق) أفضل من مجرد غمس البذور فى معلق جراثيم الفطر. ويراعى — فى كل الحالات — عدم زيادة أعداد الجراثيم التى تصل إلى البذور على الحد المناسب. وحقيقة الأمر أن ما يحدث فى هذه الطريقة هو تلويث للبذور بالمسبب المرضى (وليس إصابتها به)؛ بحيث يكون الطفيل قريبا من العائل منذ المراحل الأولى لإنبات البذور. وتجرى هذه الطريقة خاصة عند العدوى بفطريات التفحم المغطى فى النجيليات.

تستخدم فى حالة التفحمات الجراثيم الكلاميدية والتيليتية. وفى البداية تغمر البذور فى محلول فورمالين بتركيز ٠,٣٪ لمدة ساعة، ثم تغسل فى ماء صنبور جارٍ لمدة ٣٠ دقيقة لتطهيرها تمامًا من أى تلوث سطحى. ويلى ذلك تجفيف البذور لمدة ٢٤ ساعة على ٢٠ °م، ثم يرج ١٠٠جم من البذرة مع ٠,٥-١,٠جم من الجراثيم

ويجرى الاختبار لمقاومة البياض الزغبى بتغليف البذور بـالجراثيم البيضية، ثم زراعتها (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

عدوى الأزهار

تتبع عدوى الأزهار — أساسًا — مع مسببات أمراض أعفان الكوز فى الذرة والسورجم، وكذلك فى حالات التفحم السائب، وفى مرض الإرجوت فى الشيلم. تعدى النورات الزهرية وقت تفتح الأزهار بجراثيم الفطر بـالرش، أو بـالتعفير، أو بـالحقن، حيث ينتقل الفطر من مياسم الأزهار إلى الأجنة التى تتكون بعد الإخصاب (عن Kiraly وآخرين ١٩٧٤). فمثلاً.. تستعمل الرشاشات الحقلية لعدوى الشيلم فى الحقل بـالفطر

Claviceps المسبب لمرض الإرجوت، وتحقن جراثيم التفحم السائب فى نورة نبات القمح باستعمال محقنة تحت جلدية، وتعدى نورات القمح والشعير بجراثيم التفحم السائب تحت تفريغ. ويتعين فى حالات الرش بجراثيم الفطر تغطية النورات بكيس بلاستيكى لمدة ٢٤-٧٢ ساعة بعد المعاملة.

عدوى الثمار

لا تفضل عدوى الثمار إذا أمكن تقييم النباتات عن طريق الأجزاء النباتية الأخرى فى طور مبكر من النمو، لأن عدوى الثمار يتطلب الانتظار وقتا طويلا إلى أن تثمر النباتات، كما أن وصول النباتات إلى هذه المرحلة المتقدمة من النمو يتطلب مساحات أكبر من الوحدات التجريبية لإجراء عملية التقييم. وبالرغم من ذلك.. فإنه يلزم عدوى الثمار ذاتها فى بعض الأحيان، كما فى مرض الأنثراكنوز فى الطماطم.

وقد حصل Robbins & Angell (١٩٧١) على ٩٥٪ إصابة بـالأنثراكنوز فى ثمار صنف الطماطم Heinz 1350 بوضع نقطة صغيرة من معلق جراثيم الفطر على سطح الثمرة بواسطة محقنة، ثم ثقب بشرة الثمرة تحت نقطة المعلق بـإبرة المحقنة. وقد ظهرت أعراض المرض فى حرارة الغرفة وفى الرطوبة الجوية العادية، وبذا.. لم تكن هناك حاجة إلى التحكم فى درجات الحرارة أو الرطوبة الجوية.

الطرق المختبرية لتقييم مقاومة النباتات للأمراض

تتعدد الطرق المختبرية المستخدمة فى تقييم النباتات للأمراض، ومن أمثلتها ما يلى:

عدوى الأوراق المفصولة

تتبع طريقة عدوى الأوراق المفصولة عن النبات (detached leaves) مع كثير من المسببات المرضية الفطرية، مثل فطريات الأصداء، والبياض الزغبى، والبياض الدقيقى، وتبقع الأوراق السركسبورى. ولاتباع هذه الطريقة تُعَوَّم الأوراق على محلول سكروز

بتركيز ١٪–٣٪ فى ماء معقم، وتجرى العدوى برش جراثيم الفطر، أو نثرها جافة على سطح الورقة التى تعرض لإضاءة شدتها ١٠٠ قدم – شمعة لمدة ١٢–٢٤ ساعة، مع حرارة ٢٠–٢٤°م. ويمكن إضافة ٥٠ جزءًا فى المليون من الـ benzimidazole؛ لتثبيط نمو الكائنات المترممة.

وقد أمكن عدوى الأوراق الأولية للفاصوليا بأى من الفطرين *Botrytis cinerea*، أو *Sclerotinia sclerotiorum*، وذلك برش الأوراق المفصولة بمعلق لجراثيم الفطر بتركيز مليونى جرثومة / مل من محلول فوسفات غير عضوى منظم (KH_2PO_4 بتركيز ٦٢,٥ مللى مول) (Leone & Tonneijck ١٩٩٠).

التقييم بسموم المسببات المرضية

يمكن اتباع هذه الطريقة تحت ظروف الصوبات كذلك، وفيها تستخدم السموم Toxins التى تفرزها المسببات المرضية أثناء نموها فى البيئات الصناعية فى تقييم النباتات لمقاومة الأمراض التى تحدثها تلك المسببات المرضية، إذا إنها تتسبب – فى بعض الحالات – فى أحداث أعراض مماثلة للأعراض التى تحدثها الإصابة بالمسبب المرضى ذاته.

كان أول استخدام لهذه الطريقة فى التقييم للمقاومة للفطر *Helminthosporium victoriae* فى الشوفان كما يلى: نقعت بذور الشوفان لمدة نصف ساعة فى الماء، ثم وضعت فى طبقة بسمك ١٢ مم داخل أحواض خشبية، وحوفظ عليها مبتلة على حرارة ٢٧°م لمدة يومين، ثم رشت بعد ذلك بمحلول سُم الفطر، ثم أبقيت على نفس درجة الحرارة لمدة يومين آخرين. اختبر بهذه الطريقة أكثر من ١٠٠ بوشل من البذور (حوالى $٤,٥ \times ١٠^{٧}$ بذرة شوفان) خلال أربعة أيام. وقد ظهرت بادرات خالية من أعراض المرض بمعدل ٥٠ بادرة لكل بوشل من البذور، وتبين من الاختبارات التالية بالفطر ذاته أن ٩٢٪ من هذه البادرات كانت مقاومة فعلا للمرض (Wheeler & Luke ١٩٥٥).

وقد أوضحت الدراسات التالية لذلك أن هذا السم الفطرى – الذى أطلق عليه اسم Victorin – يسبب تلفًا كبيرا للأغشية الخلوية بالأصناف القابلة للإصابة، بينما لم يكن له تأثير يذكر فى الأصناف المقاومة. كما تبين أن مقاومة النباتات لهذا السم الفطرى كانت بسيطة وسائدة.

كذلك وجد أن النواتج الأيضية لبيئة الفطر المسبب لمرض الذبول الفيوزارى فى الكرنب (السلالة ١)، والفطر المسبب لذبول الفجل (السلالة ٢) تُحدِثُ أعراضًا مرضية شبيهة بالأعراض الأولى للمرض لدى أضافتها إلى مزارع رملية للنباتات القابلة للإصابة. وقد أحدثت إفرازات السلالة ١ أعراض المرض فى كل من الكرنب والفجل، بينما أحدثت إفرازات السلالة ٢ المرض فى الفجل فقط، وهو ما يتمشى مع حقيقة أن السلالة ١ تصيب كلا من العائلين، بينما تصيب السلالة ٢ الفجل فقط (عن Walker ١٩٦٥).

وأمكن عزل بروتين من راشح مزارع سلالة رقم ١ من الفطر *Fusrium oxysporum* f. sp. *lycopersici* أدى – عند المعاملة به – إلى قتل بروتوبلاستات التراكيب الوراثية القابلة للإصابة بتركيزات منخفضة فى حدود ميكروجرام/ مل، بينما كانت بروتوبلاستات الأصناف المقاومة لتلك السلالة أقل حساسية لهذا البروتين بأكثر من ١٠٠ مرة (Strange ١٩٩٣).

وقد اختبر Kuti & Ng (١٩٨٩) مقاومة الفطر *Myrothecium roridum* فى القاوون بعدوى الأوراق المفصولة؛ إما بالفطر ذاته، وإما بالمركب roridin E – وهو من إفرازات الفطر السامة لنبات القاوون – وتبين وجود اختلافات وراثية بين النباتات المختبرة فى تحملها لكل من الفطر وإفرازاته السامة، وكان معامل الارتباط بينهما ٠,٩٤.

ومن أهم الأمراض النباتية (الفطرية) التى تظهر أعراضها نتيجة لإفراز مسبباتها لسموم خاصة ما يلى (عن Daly & Knoche ١٩٨٢).

الفطر المسبب للمرض	العائل
Alternaria kikuchiana	الكمثرى
A. mali	التفاح
A. citri	البرتقال — اليوسفى — الليمون المخرفش
A. alternata	الفراولة
A. alternata f. sp. *lycopersisci*	الطماطم
Helminthosporium victoriae	الشوفان
H. carbonum	الذرة
H. maydis	الذرة
H. sacchari	قصب السكر
Periconia circinata	الذرة الرفيعة
Phyllosticta maydis	الذرة الشامية

وغالبًا ما تكون المقاومة لسموم المسببات المرضية صفة وراثية بسيطة.

وترجع أهمية اختبارات المقاومة التى تجرى باستعمال سموم المسببات المرضية إلى إمكان تقييم أعداد هائلة من البذور والبادرات بيسر وسهولة خلال فترة زمنية وجيزة وفى مساحة صغيرة. ويفضل عند اتباع هذه الطريقة استخدام تركيزات منخفضة نسبيًا من سموم المسببات المرضية فى البداية؛ حتى لا يُقضى على جميع التراكيب الوراثية التى قد تكون على درجات متوسطة من المقاومة، ثم تُعَرَّض هذه النباتات — أو أنسالها — لتركيزات أعلى من السموم بعد ذلك (Durbin ١٩٨١).

هذا.. إلا أنه يجب الحذر من أن استخدام إفرازات أو سموم المسببات المرضية فى تقييم المقاومة للأمراض قد يؤدى إلى نتائج خاطئة. فمثلاً.. وجد أن الفطر *Verticillium albo-atrum* يصيب كلا من النباتات المقاومة والقابلة للإصابة، ويمتد أعلى الساق، لكن

لا تظهر أعراض المرض إلا فى الأصناف القابلة للإصابة فقط، وهى التى يفرز فيها الفطر سمومه التى تُحدث الأعراض المشاهدة؛ أى إن المقاومة ترجع إلى قدرة النباتات المقاومة على الحد من إفراز الفطر لسمومه فيها؛ وبذا.. فإن استعمال سموم الفطر فى تقييم المقاومة فى حالات كهذه — يؤدى إلى نتائج خاطئة.

استعمال مزارع الأنسجة فى اختبارات مقاومة الأمراض

يلجأ مربو النبات إلى إجراء اختبارات مقاومة الأمراض فى مزارع الأنسجة؛ بهدف تقييم الجيرمبلازم للمقاومة أحيانًا، وبهدف انتخاب التباينات الوراثية المقاومة — التى قد تتوفر فى مزارع الأنسجة — فى أغلب الأحيان.

أمثلة متنوعة لحالات وراثة المقاومة للأمراض وخصائصها

نوضح — فيما يلى — أمثلة متنوعة لبعض حالات وراثة المقاومة للأمراض وخصائصها (عن Walker ١٩٥٩، و ١٩٦٦ إلا إذا ذكر خلاف ذلك).

حالات مقاومة يتحكم فى وراثتها جين واحد

من أمثلة حالات المقاومة للأمراض التى يتحكم فى وراثتها جين واحد ما يلى:

العائل	المرض/ الأعراض	الطفيل	المقاومة
الفاصوليا	تبرقش	Pod Mottle Virus	سائدة
الفاصوليا	موزايك	Bean Mosaic Virus	سائدة
الفاصوليا	البياض الزغبى	*Pytophthora phaseoli*	سائدة
الفاصوليا	البياض الدقيقى	*Erysiphe polygoni*	سائدة
الفاصوليا	الصدأ	*Uromyces phaseoli*	سائدة
الخيار	الجرب	*Cladosporium cucumerinum*	سائدة
الخس	البياض الدقيقى	*Erysiphe cichoracearum*	سائدة

يتبع

العائل	المرض/ الأعراض	الطفيل	المقاومة
البسلة	الذبول الفيوزارى	*Fusarium oxysporum f. pisi*	سائدة
البسلة	البياض الدقيقى	*Erysiphi pisi*	متنحية
الفلفل	موزايك	Pepper Mosaic Virus	سائدة
السبانخ	البياض الزغبى	*Peronospora effusa*	سائدة
السبانخ	موزايك	Cucuwber Mosaic Virus	سائدة
الطماطم	ذبول فيرتسيليم	*Verticillium albo-artum*	سائدة
الطماطم	الذبول الفيوزارى	*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*	سائدة
الطماطم	تبقع الأوراق السبتورى	*Septoria lycopersici*	سائدة
الطماطم	ذبول متبقع	Tomato Spotted Wilt Virus	متنحية
الطماطم	عفن الرقبة	*Alternaria solani*	ذات سيادة غير تامة
الفاصوليا	موزايك أصفر	Yellow Bean Mosaic Virus	متنحية
فول الصويا	البثرات البكتيرية		متنحية
الكرنب	الاصفرار	*Fusarium oxysporum* f. *conglutinans*	طراز A – سائدة
الفجل	الصدأ الأبيض	*Albugo candida*	بسيطة
الخيار	الذبول البكتيرى	*Erwinia tracheiphila*	بسيطة
البسلة	الجذر الوردى	*Pyrenochaeta terrestris*	بسيطة
الفاصوليا	موزايك الفاصوليا العادى	Common Bean Mosaic Virus	متنحية (الجين a)
الكرنب	العفن الأسود	*Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (١٩٧٨ Russell)	سائدة
القنبيط	العفن الأسود	*X. campestris* pv. *campestris* (١٩٨٦ Jamwal & Sharma)	سائدة
البطاطا	نيماتودا تعقد الجذور	*Meloidogyne* spp. (١٩٨٤ وآخرون Abobaker)	سائدة

هذا.. ويعرف أكثر من ٢٠ جينًا للمقاومة لسلالات مختلفة من صدأ الأوراق فى القمح، بينما يزيد عدد الجينات الخاصة بمقاومة صدأ الساق عن ٣٠ جينًا (عن Singh ١٩٩٣).

حالات مقاومة يتحكم فى وراثتها زوجان من الجينات

من أمثلة حالات المقاومة التى يتحكم فى وراثتها زوجان من الجينات ما يلى:

العائل	المرض/ الأعراض	الطفيل	المقاومة
البصل	البياض الزغبى	*Peronospora destructor*	الجينان سائدان
فاصوليا الليما	تبرقش		الجينان سائدان
الفاصوليا	موزايك	Common bean Mosaic Virus	الجينان متنحيان

ويُستدل من دراسات Barker وآخرين (١٩٩٤) أن مقاومة البطاطس (السلالتان G7032، و G7445) لفيرس التفاف أوراق البطاطس يتحكم فيها زوجان من الجينات السائدة غير المرتبطة والمكملة لبعضهما البعض؛ بمعنى أن كليهما ضرورى لاكتساب صفة المقاومة.

حالات مقاومة يتحكم فى وراثتها ثلاثة أزواج من الجينات

من أمثلة حالات المقاومة التى يتحكم فى وراثتها ثلاثة أزواج من الجينات ما يلى:

العائل	المرض/ الأعراض	الطفيل	المقاومة
البصل	الاسوداد	*Colletotrichum circinans*	تؤثر فيها السيادة والتفوق
البسلة	لفحة أسكوكيتا	*Ascochyta pisi*	الجينات سائدة
الخيار	الموزايك — مرحلة الأوراق الفلقية	Cucumber Mosaic Virus	الجينات مكملة لبعضها
الفاصوليا	موزايك	Common Bean Mosaic Virus	الجينات I، وs، وa

حالات مقاومة يتحكم فى وراثتها أكثر من ثلاثة أزواج من الجينات

من أمثلة حالات المقاومة التى يتحكم فى وراثتها أكثر من ثلاثة أزواج من الجينات ما يلى:

العائل	المرض/ الأعراض	الطفيل	المقاومة
الصليبيات	تدرن الجذور	*Plasmodiophora brassicae*	
الفاصوليا	عفن الجذر الفيوزارى	*Fusarium oxysporum* f. *solani*	جينات مكملة لبعضها
الكرنب	الاصفرار	*Fusarium oxysporum* f. *conglutinans*	طراز B
الطماطم	تلطخ الأوراق	*Fulvia fulva*	جينات رئيسية

حالات تتنوع فيها وراثة المقاومة بين مختلف المصادر

تعد المقاومة لفيرس موزايك الفاصوليا العادى Common Bean Mosaic Virus فى الفاصوليا من الحالات القليلة التى تختلف فيها وراثة المقاومة ما بين زوج واحد، وزوجين، وثلاثة أزواج من الجينات كما يلى:

١- يتحكم فى المقاومة البسيطة جين واحد متنح يأخذ الرمز a.

٢- تتوفر مقاومة أخرى ضد بعض سلالات الفيرس، ويتحكم فيها جينان متنحيان يأخذان الرمزين s، و a، كما فى الأصناف: Michelite، و Sanilac، وسلالات Greal Northern.

٣- تتوفر مقاومة ثالثة توجد فى معظم أصناف الفاصوليا الخضراء (مثل الصنف: Corbet Refugee) ويتحكم فيها جين سائد I مثبط لتأثير الجينين S، و A الخاصين بالقابلية للإصابة، وبذا.. يصبح الصنف مقاومًا. وتعد هذه المقاومة فعالة ضد جميع سلالات الفيرس.

وجدير بالذكر أن المقاومة فى الحالتين الأولى والثانية تكون متنحية، بينما تظهر المقاومة فى الحالة الثالثة سائدة، لأن الجين السائد I يظهر تأثيره حتى وإن لم يحمل النبات جينات المقاومة المتنحية s، و a.

ويبين جدول (٨-١) أمثلة أخرى لحالات تتنوع فيها وراثة المقاومة بتنوع المصادر.

جدول (٨-١): وراثة المقاومة غير البسيطة لبعض الأمراض فى بعض المحاصيل الزراعية (عن Agrawal ١٩٩٨).

المحصول	المقاومة: المحدودة الجينات oligogenic	المقاومة: المتعددة الجينات polygenic
البسلة	اللفحة — فيرس مزايك البسلة — البياض الدقيقى	—
اللوبيا	فيرس التبرقش المصفر — فيرس موزايك اللوبيا — فيرس موزايك الخيار — تبقع أوراق سركسبورا — لفحة الأوراق البكتيرية	—
الفاصوليا	تبقع الأوراق الزاوى	العفن الأبيض — عفن الجذور الرايزكتونى — عفن بذور بثيم — الذبول الطرى — اللفحة الهالية
البامية	فيرس الموزايك واصفرار العروق	—
الخيار	تبقع الأوراق الزاوى	—
القنبيط	—	العفن الأسود
الكرنب	العفن الأسود	—
الخس	البياض الزغبى	—
الكرفس	الاصفرار الفيوزارى	—

ولمزيد من التفاصيل حول وراثة المقاومة للأمراض.. يراجع Boller & Meins (١٩٩٢)، كما يتناول Staskawicz وآخرون (١٩٩٥) موضوع الوراثة الجزيئية لمقاومة الأمراض.

حالات خاصة بالمقاومة للأمراض الفيروسية

حصر بحالات وراثة المقاومة للأمراض الفيروسية

إن المقاومة للفيروسات يتحكم فيها — فى معظم المحاصيل الزراعية — جين واحد سائد، وربما يرجع شيوع تلك المقاومة البسيطة إلى بحث المربين عنها أثناء برامج التربية، كما أن السيادة غير التامة قد تكون مجرد انعكاس لجرعة الجين فى

الجيرمبلازم المختبر، أو بسبب العوامل البيئية. ويبين جدول (٨-٢) ملخصًا بعدد حالات المقاومة التى درست، وطبيعة وراثتها.

جدول (٨-٢): ملخص بعدد جينات المقاومة للفيروسات المعروفة (عن Hull ٢٠٠٢).

حالات المقاومة	البسيطة Monogenic	القليلة الجينات Oligogenic والمتعددة Polygenic
السيادة	٨١	١٠
التنحى	٤٣	٢٠
السيادة غير التامة	١٥	٦
غير المعروفة	–	٤
المجموع	١٣٩	٤٠

وكان Provvidenti & Hampton (١٩٩٢) قد قاما بعمل حصر لحالات المقاومة لعدد ٥٦ فيروسًا من الـ Potyviridae فى ٣٣٤ نوعًا نباتيًّا، وتبين أن غالبيتها كانت بسيطة وسائدة (٦٠ جينًا للمقاومة)، أو بسيطة ومتنحية (٣٩ جينًا للمقاومة)، بينما ظهرت بعض الحالات التى تحكم فيها جينين أو أكثر للمقاومة.

ويبين جدول (٨-٣) أمثلة متنوعة لحالات مقاومة سائدة، وأخرى غير تامة السيادة، وثالثة تبدو فيها المقاومة متنحية.

كما يقدم جدول (٨-٤) لعديد من حالات المقاومة البسيطة للفيروسات مع عرض لخصائصها.

جدول (٨-٣): أمثلة لحالات المقاومة للفيروسات فى المحاصيل الزراعية (عن Hull ٢٠٠٢).

جين المقاومة	النوع النباتى	الفيرس	تواجد السلالات القادرة على كسر المقاومة
المقاومة السائدة			
Zym[أ]	*Cucurbita moschata*	فيرس موزايك الزوكينى الأصفر ZYMV	لا توجد
Tm-2	*Solanum lycopersicum*	فيرس موزايك التبغ	توجد
$Tm\text{-}2^2$	*S. lycopersicum*	فيرس موزايك التبغ	توجد
Nx, Nb	*Solanum tuberosum*	فيرس إكس البطاطس PVX	توجد
By, By-2	*Phaseolus vulgaris*	فيرس موزايك الفاصوليا الأصفر BYMV	توجد
Rsv_1, Rsv_2	*Glycine max*	فير موزايك فول الصويا SbMV	توجد
المقاومة غير تامة			
السيادة:			
Tm-1	*S. lycopersicum*	فيرس موزايك التبغ	توجد
L1,L2, L3	*Capsicum* spp.	فيرس موزايك التبغ	توجد
جينان	*Hordeum vulgare*	فيرس موزايك الشعير المخطط BSMV	توجد
عدة جينات	*Vigna sinensis*	فيرس موزايك اللوبيا الجنوبى SCPMV	؟
المقاومة تبدو متنحية:			
by-3	*P. vulgaris*	فيرس موزايك الفاصوليا الأصفر	لا توجد
sw_2, sw_3, sw_4	*S. lycopersicum*	فيرس ذبول الطماطم المتبقع TSWV	توجد

أ- يتحكم فى المقاومة ثلاثة جينات، هى Zym-1، و Zym-2، و Zym-3، ولكن الجين Zym-1 فقط هو الأساسى، بينما يخفض الجينان Zym-2، و Zym-3 درجة القابلية للإصابة.

جدول (٨-٤): أمثلة على بعض حالات المقاومة للفيروسات وخصائصها (عن Fraser ١٩٩٠).

جين المقاومة	المحصول	الفيرس(أ)	خصائص المقاومة أو جين المقاومة	تواجد السلالات القادرة على كسر المقاومة
Rcv	فول الصويا	CCMV	فرط الحساسية	توجد
جين سائد	اللوبيا	CPMV	مثبط للبروتييز الفيروسى — فعال فى البروتوبلاست	توجد
Wmv	الفاصوليا	WMV-2	يمنع الإصابة الجهازية ويسمح بتكوين البقع الموضعية	لا توجد
Hsw	الفاصوليا	WMV-2	فرط الحساسية	لا توجد
Wmv	*Cucumis metuliferus*	PRV	مناعة — فعال فى البروتوبلاست	لا يعرف
عدة جينات سائدة من البطاطس أنواع *Solanum* البرية		PVY	فرط الحساسية	توجد
Ry	البطاطس	PVY	مناعة — فعال فى البلاوتوبلاست	لا توجد
جين سائد	البطاطس	PLRV	يمنع تكاثر الفيرس	لا يعرف
جين ذو سيادة غير تامة	اللوبيا	SBMV	فعّال جهازيًا	لا يعرف
جين ذو سيادة غير تامة	الكرنب	TuMV	فعّال جهازيًا	توجد
جين ذو سيادة غير تامة (Tlc)	الطماطم	TYLCV	فعّال جهازيًا	لا يعرف
zym	الخيار	ZYMV	يمنع تكاثر الفيرس	لا توجد
Sbm1,2,3,4 (٤ جينات مستقلة التأثير)	البسلة	PSbMV	يمنع تكاثر الفيرس، وظهور الأعراض والانتقال بطريق البذور	توجد
جينان	الكوسة	CMV	مقاومة الانتشار من الأوراق التى حدثت فيها الإصابة	لا توجد

أ- الفيروسات المشار إليها فى الجدول هى كما يلى:

CCMV: cowpea chlorotic mottle virus

ZYMV: zucchini yellow mosaic virus

CPMV: cowpea mosaic virus

CMV: cucumber mosaic virus

WMV-2: watermelon mosaic virus-2
SBMV: southern bean mosaic virus
TYLCV: tomato yellow leaf curl virus
PRV: papaya ringspot virus
PLRV: potato leaf roll virus
PVY: potato virus Y
PSbMV: pea seed-borne mosaic virus

التباينات فى وراثة المقاومة للأمراض الفيروسية

على الرغم من أن غالبية حالات المقاومة للفيروسات التى دُرست وجد أنه يتحكم فى كل منها جين واحد، فإنه تُعرف — كما أسلفنا ذكره — بعض الحالات التى كانت وراثتها مخالفة لذلك وأكثر تعقيدًا، ومن أمثلة ذلك ما يلى:

١– فى حالات قليلة وجد أن المقاومة يتحكم فيها عدد محدود من الجينات، أى إنها oligogenic، كما فى حالة مقاومة الفاصوليا لفيرس موزايك الفاصوليا العادى.

٢– يتحكم أحيانًا جينًا واحدًا فى المقاومة لأكثر من فيرس، ومن الأمثلة على ذلك ما يلى:

أ– يتحكم جين واحد متنحٍ فى مقاومة الفلفل لكل من فيرس واى البطاطس، وفيرس إتش التبغ.

ب– يتحكم جين واحد متنحٍ — كذلك — (الجين mo) فى مقاومة البسلة لكل من فيرس موزايك الفاصوليا الأصفر BYMV، وفيرس موزايك البطيخ رقم ٢ WMV-2.

ج– تتماثل أو تتشابه وتتقارب بشدة الجينات السائدة التى تتحكم فى تفاعل فرط الحساسية فى الفاصوليا ضد كل من فيرس موزايك الفاصوليا العادى BCMV، وفيرس

موزايك اللوبيا (ذات العيون السوداء) BICMV، وفيرس موزايك فول الصويا SMV، وفيرس موزايك اللوبيا المنقول بالمنّ CAbMV، وفيرس موزايك البطيخ.

٣- كثيرًا ما نجد أن جينات المقاومة لعدد من الفيروسات تتجمع فى مناطق محددة من الكروموسومات، ومن أمثلة ذلك ما يلى:

أ- جينات المقاومة فى البسلة لسلالة العدس من كل من: فيرس موزايك البسلة المنقول بالبذور PSbMV، وفيرس موزايك الفاصوليا الأصفر BYMV، وفيرس موزايك البطيخ رقم ٢ WMV-2، وفيرس اصفرار عروق الكلايتوريا Clitoria yellow vein virus (CYVV)، والسلالة NL-8 من فيرس موزايك الفاصوليا العادى BCMV، وجميعها متنحية وترتبط بشدة على الكروموسوم رقم ٢.

ب- يوجد ارتباط قوى بين جينى المقاومة لكل من فيرس موزايك البطيخ WMV وفيرس موزايك الزوكينى الأصفر ZYMV فى القاوون.

ج-يوجد كذلك ارتباط قوى بين جينات المقاومة لكل من سلالة البطيخ لفيرس بقع الباباظ الحلقية PRSV-W، وفيرس موزايك الزوكينى الأصفر ZYMV، وفيرس موزايك البطيخ WMV، وفيرس موزايك البطيخ المغربى MWMV فى الخيار (عن Hull ٢٠٠٢).

حالات خاصة بالمقاومة للأمراض النيماتودية

يتحكم فى معظم حالات المقاومة المعروفة ضد النيماتودا الداخلية التطفل جينًا واحدًا رئيسيًا، كما أن معظم تلك الحالات تكون فيها الإصابة (اختراق يرقات النيماتودا لجذور العائل) مصاحبة بتحلل موضعى شبيه بتفاعل فرط الحساسية. ولقد ظهرت بالفعل — فى عديد من الحالات — عشائر نيماتودية كانت قادرة على إصابة النباتات الحاملة لجين المقاومة، كما يظهر فى جدول (٨-٥).

جدول (٨-٥): بعض حالات المقاومة للنيماتودا التى ظهرت مقابلها عشائر نيماتودية قادرة على إصابتها (عن Castagnone-Serena ٢٠٠٢).

النوع النباتى	جين المقاومة	النوع النيماتودى
Vigna unguiculata	Rk	*Meloidogyne incognita*
Solanum lycopersocum	Mi	*M. incognita*، و*M. javanica*، و*M. arenaria*
Solanum fendleri	Rmc	*M. chitwoodii*
Capsicum annuum	Me	*M. incognita*
Solanum tuberosum	H1	*Globodera rostochiensis*
Beta spp.	Hs1 pro-1	*Heterodera schachtii*
Glycine max	(كمية)	*H. glycines*

ولقد أمكن تحت الظروف المتحكم فيها فى الصوبات انتخاب سلالات من *M. incognita* كانت قادرة على إصابة نباتات الطماطم الحاملة للجين Mi، مع تحقيق زيادة مضطردة فى ضراوتها، ظهرت فى صورة زيادة فى أعداد الأفراد النيماتودية التى كانت قادرة على كسر جين المقاومة جيلاً بعد جيل. ولكن تجدر الإشارة إلى أن هذا الاختبار لم يكن ناجحًا لا مع كل عشائر النيماتودا التى درست ولا مع كل جينات المقاومة التى اختبرت.

إلاّ أن ذلك لا يعنى عدم ثبات أى مقاومة ضد النيماتودا، بل إن العكس هو الصحيح. ومن أكثر حالات المقاومة للنيماتودا — المعروفة — ثباتًا حالة الجين H1 المسئول عن مقاومة البطاطس للنيماتودا *Heterodera rostochiensis* الذى استعمل على نطاق واسع فى أصناف البطاطس منذ سبعينيات القرن العشرين دون أن تظهر عشائر نيماتودية قادرة على إصابتها (عن Castagnone-Sereno ٢٠٠٢).

هذا.. وتتوفر المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور فى عديد من الأصناف التجارية لمحاصيل الخضر، ومن أمثلة ذلك ما يلى:

المحصول	مصدر المقاومة	وراثة المقاومة
الطماطم	Anahu ، و Small Fry، و VFN8	جين واحد سائد (Mi) لمقاومة الأنواع النيماتودية *M. incognita*، و *M. javanica*، و *M. arenaria*
الفلفل	Santanka	جين واحد سائد لمقاومة *M. incognita*
الفاصوليا	Manoa و، Alabama No.1 Wonder	ثلاثة أزواج من الجينات لمقاومة *M. incognita*
اللوبيا	Mississipi Silver	جين واحد سائد (Rk) لمقاومة *M. incognita*، و *M. javanica*
البطاطا		جين واحد سائد لمقاومة *M. incognita*، و *M. javanica*

وحتى بداية ثمانينيات القرن العشرين كان يعرف أكثر من ٤٥٠ صنفًا نباتيًّا من ١٣ عائلة يحمل كل منها مقاومة لنوع واحد — على الأقل — من أنواع الجنس *Meloidogyne* (عن Fassuliotis ١٩٨٥، و Kalloo ١٩٨٨).

الفصل التاسع

تربية الخضر لتحمل مبيدات الحشائش

أهمية التربية لتحمل مبيدات الحشائش

ترجع أهمية التربية لتحمل مبيدات الحشائش إلى الأسباب التالية:

١- ليس من الحكمة إنتاج مبيدات حشائش تناسب أيًّا من المحاصيل الزراعية التى لا تزرع على نطاق واسع، مثل معظم محاصيل الخضر؛ لأن إنتاج أى مبيد جديد أصبح باهظ التكاليف إلى درجة تتطلب استعماله على نطاق واسع جدًّا؛ ليتسنى تسويقه بسعر مناسب، واسترداد رأس المال المستثمر خلال فترة زمنية معقولة.

٢- وحتى فى حالة المحاصيل الحقلية التى تزرع على نطاق واسع.. فإن إنتاج أصناف جديدة منها تتحمل مبيدات الحشائش المتوفرة أفضل من محاولة إنتاج مبيدات جديدة؛ لأن تكاليف استنباط الصنف الجديد لا تزيد — فى أغلب الأحيان — على ١٪–٥٪ من تكاليف إنتاج المبيد الجديد، التى تشمل الاختبارات الحقلية، ودراسات السمية، وتلوث البيئة، وتكاليف إقامة مصنع الإنتاج.

٣- تقوم شركات إنتاج المبيدات — وجميعها مؤسسات ضخمة — بتمويل بحوث استنباط الأصناف المحصولية التى تتحمل مبيدات الحشائش — التى تنتجها تلك الشركات، والتى تكون فعالة ضد مدى واسع من الأعشاب الضارة — بهدف زيادة مبيعاتها من هذه المبيدات.

٤- قلة عدد مبيدات الحشائش الجيدة المسجلة للاستعمال مع مختلف المحاصيل الزراعية، وتناقص الأعداد الجديدة — المنتجة منها — سنويًّا.

الأمور التى يجب أخذها فى الحسبان عند التربية لتحمل مبيدات الحشائش

يتعين — قبل بدء أى برنامج تربية لتحمل مبيد معين من الحشائش فى محصول ما — أخذ الأمور التالية فى الحسبان.

١- اختيار المبيد الذى يتميز بخاصية قتل عالية لأكبر عدد من الحشائش الهامة للمحصول، بجرعات اقتصادية.

٢- ملاحظة أن الجرعة المناسبة من المبيد للاستعمال مع الصنف المزمع استنباطه قد تختلف عن الجرعات الموصى بها من المبيد فى حالات أخرى، والحرص على مراعاة الجانب الاقتصادى فى ذلك. هذا.. إلا أن الجرعة المناسبة للاستعمال مع الصنف الجديد لا تتحدد – عمليًا – إلا بعد إنتاج ذلك الصنف.

٣- مراعاة مدى تحمل المحصول – وراثيًّا – للمبيد قبل الشروع فى التربية لزيادة قدرته على التحمل؛ فعندما يكون المحصول أكثر تحملاً للمبيد عن غالبية أنواع الأعشاب الضارة التى تنمو معه.. فإن مدى التحسّن المطلوب – حينئذ – لجعل المبيد مناسبًا للاستعمال مع المحصول – يكون أقل مما لو كان المحصول شديد الحساسية للمبيد – بطبيعته – بدرجة أكبر من الحشائش التى تنمو معه، وقد يتطلب التوصل إلى تلك الحقيقة إجراء بعض التقييم الأولى.

٤- إجراء تقييم أولى بين أصناف وسلالات المحصول الواحد فى اختيار الآباء المناسبة لبدء برنامج التربية.

٥- تجنب اختيار المبيدات التى تكون شديدة الضرر على الإنسان أو البيئة، والمبيدات التى لا تلقى إقبالاً كبيرًا على استعمالها لأى سبب كان؛ لأن مثل هذه المبيدات تكون أكثر عرضة للاندثار؛ لظهور غيرها أفضل منها، أو بسبب تشريعات حماية البيئة التى قد تمنع استخدامها أو تحد منه. وتزداد أهمية هذا العامل فى ضوء البطء الطبيعى لبرامج التربية التى قد تستغرق عشر سنوات قبل ظهور الصنف الجديد.

٦- من المعروف أن القدرة التنافسية، والقدرة على البقاء، والقدرة على التأقلم مع الظروف المحيطة تكون أقل فى سلالات الفطريات المقاومة للمبيدات الفطرية، وفى سلالات الحشرات المقاومة للمبيدات الحشرية، وسلالات مسببات الأمراض والآفات القادرة على

كسر مقاومة النباتات لها، (ظاهرة الانتخاب المثبت Stabilizing Selection؛ يراجع لذلك حسن ٢٠٠٨)، وذلك مقارنة بالسلالات العادية من تلك الكائنات. ولذا.. فمن الممكن أن تكون سلالات النباتات التى تتحمل مبيدات الحشائش أقل قدرة على التكيف والمواءمة مع ظروف الإنتاج العادية؛ بأن يكون للجين أو الجينات المسئولة عن تحمل المبيد تأثيرات أخرى سلبية على المحصول أو صفات الجودة.

ويعزز هذا الاعتقاد رداءة الصفات المحصولية للأقماح الشتوية التى وجدت بها صفة تحمل الأترازين، وكذلك الصفات العادية (غير المتميزة) لأصناف الزوان المعمر الأولى التى وجدت مقاومة للباراكوات.

ولكن يجب ألا يتوقع أن تكون أولى الأصناف المنتخبة لتحمل مبيدات الحشائش من محصول ما مماثلة فى جودتها للأصناف الأخرى المتميزة من نفس المحصول التى تنتشر فى الزراعة (عن Machado ١٩٨٢).

طرق التقييم لتحمل مبيدات الحشائش

نالت دراسات طبيعة فعل مبيدات الحشائش وكيفية تحمل النباتات لها قسطًا وافرًا من اهتمام المشتغلين فى هذا المجال، ولكن — ومن وجهة نظر المربى الخاصة — فإن هذه الأمور لا تفيده كثيرًا فى عمليات التقييم لانتخاب النباتات التى تتحمل فعل المبيدات. فبفرض أن صفة التحمل تظهر جيدًا تحت ظروف الحقل، ولا تؤثر سلبيًا على المحصول كمًا ونوعًا.. فإنه لا يهم المربى كون صفة تحمل المبيد ترجع إلى عدم امتصاص النبات له، أم إلى ضعف انتقاله فى النبات، أم إلى عدم حساسية النبات له، أم إلى سرعة تحلل المبيد أو تغيره — كيميائيًا — داخل النبات ... إلخ. ويستثنى من ذلك دراسات الهندسة الوراثية ومزارع الأنسجة التى تكون على المستوى الخلوى.

كذلك لا يفيد المربى ربط صفة التحمل بصفات تشريحية أو مورفولوجية؛ لأن تأثير المبيد على النبات يكون واضحًا جدًّا للعين، وأسهل بكثير من قياس صفات مثل الشمع السطحى وكثافة الشعيرات... إلخ.

ومن أهم طرق التقييم لتحمل مبيدات الحشائش ما يلى:

التقييم الحقلى

يتم التقييم الحقلى بزراعة أعداد كبيرة من النباتات، ثم رشها - تحت ظروف الحقل - بالمبيد الذى يؤدى إلى قتل جميع النباتات الحساسة؛ حيث تنتخب النباتات المتبقية. تتميز هذه الطريقة بسهولتها، ولكن يعيبها ما يلى:

١- عدم تجانس توزيع المبيد بسبب تيارات الهواء، أو لأسباب فنية تتعلق ببشابير (بزابين) الرش.

٢- عدم تجانس تربة الحقل؛ وما يترتب على ذلك من اختلافات فى قوة نمو النباتات وتأثير ذلك فى قدرة النباتات على تحمل المبيد.

٣- تأثير العوامل البيئية فى فاعلية التركيز المستخدم من المبيد، والحاجة إلى تعديله تبعًا للظروف البيئية السائدة.

٤- احتمال تأخر إنبات بعض البذور؛ الأمر الذى يؤدى إلى زيادة فرصة الإفلات من أضرار المبيد.

٥- احتمال عدم وصول المبيد إلى النبات؛ بسبب حمايته بغطاء من النباتات أو الحشائش المجاورة له.

التقييم فى البيوت المحمية

يجرى التقييم لتحمل مبيدات الحشائش - فى البيوت المحمية (الصوبات)- فى طور البادرة؛ حيث يمكن اختبار عدد كبير من النباتات فى مساحة صغيرة نسبيًّا. وتوفر الصوبات الجو المناسب الذى يمكن التحكم فيه أيًّا كان موسم النمو.

تسمح هذه الطريقة، بالتمييز بين النباتات أو السلالات التى تُظهر مستويات مختلفة من تحمل المبيد. وقد يكون من المرغوب فيه الإبقاء على أفضل ١٪ من

النباتات، لكن يكون من الصعب المعاملة بالتركيز الذى يقضى على ٩٩٪ من النباتات. ولذا.. يفضل تعديل الهدف إلى التخلص من ٩٥٪ من النباتات. وبذا.. تكون أمامنا فرصة لانتخاب أفضل النباتات من بين المتبقية من المعاملة.

وبرغم أن استجابة النباتات لفعل المبيد – وهى فى طور البادرة – قد تختلف عن استجابتها له فى أطوار النمو الأكثر تقدمًا، إلا أن هذا لا يهم إلاّ فى الحالات القليلة التى تتم فيها المعاملة بالمبيد فى مرحلة متقدمة من النمو النباتى.

وإذا أجريت المعاملة بالمبيد فى مرحلة أكثر تقدمًا من النمو النباتى.. فإنه يجب عدم الاعتماد على انتخاب كل النباتات التى لا يقضى عليها حينئذ، ولا يجب قياس أطوال النباتات أو وزنها الجاف.. فتلك أمور يمكن أن تتأثر كثيرًا بعوامل أخرى.. ويتعين – بدلاً من ذلك – إجراء فحص عينى للنباتات التى تحملت المبيد لاستبعاد جميع النباتات التى كانت أكثر تضررًا منه (عن Fualkner ١٩٨٢).

التقييم فى مزارع الأنسجة

يكون الهدف من التقييم فى مزارع الأنسجة – بطبيعة الحال – هو انتخاب خلايا مطفرة – قادرة على تحمل تركيز معين من المبيد – وإكثارها لتصبح سلالة خلية Cell clone، ثم توفير الظروف اللازمة لتمييز نباتات كاملة منها.

ويتعين قبل البدء فى اختبار كهذا الإلمام بطبيعة فعل المبيد. ويهم أيضًا التحكم التام فى مرحلة نمو مزرعة الخلايا. فمثلاً.. تكون مزارع خلايا الطماطم المحتوية على الكلوروفيل شديدة التأثر بتركيزات من الدايرون diuron والسيمازين simazine أقل بكثير من التركيزات المؤثرة فى مزارع الخلايا غير المحتوية على الكلوروفيل؛ علمًا بأن كلاً من المبيدين مثبط لعملية البناء الضوئى. وعلى العكس من ذلك.. فإن مزارع خلايا الطماطم البيضاء تتأثر بتركيزات من مبيد نابروباميد napropamide أقل من تلك التى تؤثر فى مزارع الخلايا الخضراء.

وقد استخدمت تقنية دمج البرتوبلازم لنقل صفة تحمل الترايازين — التى تورث سيتوبلازميا، وتتوفر فى عديد من أنواع الحشائش — إلى الأنواع المحصولية القريبة منها. ويبين جدول (٩-١) مصادر تحمل الترايازين فى مختلف الحشائش والأنواع المحصولية التى يمكن نقل تلك الصفة إليها.

جدول (٩-١): أنواع الحشائش القادرة على تحمل الترايازين والأنواع المحصولية التى يمكن نقل تلك الصفة إليها.

العائلة	نوع الحشائش	الأنواع المحصولية الهامة القريبة منها
Amranthaceae	٤ أنواع من الجنس *Amaranthus*	لا يوجد
Caryophyllaceaae	*Stellaria media*	لا يوجد
Chenopodiaceae	*Atriplex patulla*	بنجر السكر وبنجر المائدة
	٤ أنواع من الجنس *Chenopodium*	
	Kochia scoparia	
Compositae	*Ambrosia artemisiifolia*	دوار الشمس — القرطم — الطرطوفة
	Bidens tripartita	
	Erigeron canadensis	
Crucifereae	*Senecio vulgaris*	
	Brassica campestris	لفت الزيت — اللفت — الكرنبيات
Graminae	*Bromus tectorum*	الحبوب الصغيرة — الأعلاف النجيلية — بنجر السكر
	Poa annua	
Polygonaceae	نوعان من الجنس *Polygonum*	الحنطة السوداء
Solanaceae	*Solanum nigrum*	البطاطس — الطماطم — الباذنجان — التبغ

ولا يتطلب الأمر — فى جميع الحالات المبينة فى جدول (٩-١) — أكثر من نقل البلاستيدات الخضراء من نوع الحشائش المتحمل للمبيد إلى النوع المحصولى القريب

منه؛ لأن صفة تحمل مبيد الترايازين تحمل فى البلاستيدات الخضراء. ويفيد تعريض خلايا الحشيشة المقاومة – لأشعة X أو جاما – فى منع أنويتها من الانقسام، بينما تبقى بلاستيداتها سليمة.

ومن بين المحاصيل التى نجحت فيها هذه الطريقة التبغ والصليبيات (عن Gressel وآخرين ١٩٨٢).

طبيعة صفة تحمل مبيدات الحشائش

تتحقق صفة التحمل الوراثى لمبيدات الحشائش من خلال عدة مسارات؛ منها ما يلى:

١– كثرة إنتاج الخلايا لبروتينات معينة من تلك التى تتأثر بالمبيد؛ فلا يؤثر المبيد على كل الكمية المنتجة منها، ويبقى جزء منها يكفى لأداء وظائفه الطبيعية فى النبات، ومن أمثلتها الإنزيمات التى تتأثر بالجليفوسيت Glyphosate.

٢– حدوث طفرات فى بروتينات معينة من تلك التى تتأثر بالمبيد، تقلل من ارتباط المبيد بها، ومن أمثلتها حالات المقاومة للمبيدات:

٣– حدوث طفرات فى بروتينات معينة من تلك التى تتأثر بالمبيد، تقلل من ارتباط المبيد بها، ومن أمثلتها حالات المقاومة للمبيدات:

asulam glyphosate

sulfonylurea atrazine

chlorsulfuron

٤– نقل جينات قادرة على إلغاء سمية المبيد (detoxification genes) من البكتيريا إلى النبات بطرق الهندسة الوراثية، مثل حالات المقاومة لكل من:

bromoxynil bilanafos

phenoxyactic acid

وفى هذا الصدد.. درس على نطاق واسع نظام الـ glutathione-S-transferase System فيما يتعلق بإنتاج نباتات ذرة – بطريق الهندسة الوراثية – قادرة على تحمل مبيدات الأترازين atrazine، والميتولاكلور metolachlor، والألاكلور alachlor (عن Mullineaux ١٩٩٢).

جهود التربية لتحمل مبيدات الحشائش

بذلت جهود كبيرة لزيادة القدرة على تحمل مبيدات الحشائش فى عدد من محاصيل الخضر، نذكر منها ما يلى:

الطماطم

أجريت دراسات استهدفت التربية لمقاومة مبيد الحشائش متريبوزين Metribuzin، الذى يستخدم فى حقول الطماطم؛ إما قبل الزراعة، وإما بعد الإنبات، ولكن المعاملة الأخيرة تُحدث – أحيانًا – أضرارًا كبيرة بالطماطم، خاصة فى الجو الملبد بالغيوم. وقد قيّم Phatak & Jaworski (١٩٨٥) ٢٩٣ صنفًا من الطماطم، و١٩٨٦ سلالة من سبعة أنواع من الجنس *Solanum*، ووجدا أن أكثرها قدرة على تحمل المبيد كانت هى سلالتى الطماطم UG 113 MT، و UGA 1160 MT اللتين تحملتا تركيزات بلغت ١٦ ضعف التركيز الموصى به (وهو ١,١٢ كجم/هكتار) حتى فى الجو الملبد بالغيوم.

وكان Machado وآخرون (١٩٨٢) قد ذكروا أن صنفى الطماطم Vision، و Fireball يتحملان مبيد المتريبوزين، واستخدماهما فى دراسة وراثية مع الصنف الحساس Heinz 1706، استدلا منها على أن القدرة على تحمل المبيد (معبرًا عنها بغياب أعراض التسمم، وطول البادرات، ووزنها الجاف) صفة بسيطة سائدة، تتأثر بجينات أخرى محورة، ذات درجة توريث عالية، قدرت على النطاق العريض بنحو ٥٨٪ إلى ٧٢٪.

البطاطس

وجد De Jong (١٩٨٣) أن الحساسية لمبيد الحشائش متريبوزين Metribuzin — فى الطرز الثنائية — يتحكم فيها جين واحد متنح، أعطى الرمز me. وقد أوضح الباحث أهمية استخدام هذا الجين كجين معلم Marker gene فى الدراسات الوراثية.

الفلفل

يتوفر مدى واسع من القدرة على تحمل مبيد الحشائش بنتازون bentazon بين أصناف الفلفل. وكان قد اكتُشِفَ مستوى عالٍ من القدرة على تحمل المبيد فى الصنف Boheminan Chili، الذى صُنِّف على أساس أنه يتبع النوع *C. chinense*، ولكن يعتقد أنه يتبع النوع *C. annuum*، ثم اكتشف مستوى مماثل من القدرة على تحمل المبيد فى صنف الفلفل Santaka، وفى ثلاث سلالات، هى: P. I.. 127445، و P.I. 163187، و P. I 246123.

وقد أوضحت الدراسات الوراثية أن مقاومة الصنف الأخير يتحكم فيها جين واحد سائد أعطى الرمز Bzt؛ نسبة إلى صفة تحمل البنتازون Bentazon tolerance (Fery & Harrison ١٩٩٠)، مع وجود بعض الجينات المحورة (Wolff وآخرون ١٩٩٢).

الخيار

اكتشفت القدرة على تحمل مبيد الحشائش كلورامبين Chloramben فى بعض سلالات الخيار. وأوضح Miller وآخرون (١٩٧٣) أن جينات المقاومة للمبيد — فى سلالتين من الخيار — تراوحت من ١— ٥ جينات؛ تبعًا لطريقة التقييم التى اتبعها، وطريقة تقدير عدد الجينات. وكان تفاعل الجينات إضافيًا أساسًا، مع سيادة جزئية للقدرة على تحمل المبيد، وظهر واضحًا أن الجينات المسئولة عن تحمل المبيد تختلف فى السلالتين، ويدل على ذلك اختلاف درجة توريث الصفة فى السلالتين، وظهور انعزال فائق الحدود عند تهجينهما معًا. وقد تراوحت درجة التوريث على النطاق العريض من ٠,٤٩ — ٠,٩٣ وعلى النطاق الضيق من ٠,٣٦— ٠,٨٧.

وفى دراسة تالية.. قيم Staub & Crubaugh (١٩٨٩) ٧٥٣ سلالة من الخيار للقدرة على تحمل نفس المبيد، ووجدا أن تسع سلالات منها كانت أكثر من غيرها تحملاً للمبيد.

الكوسة

توصل Adenniji & Coyne (١٩٨١) — من دراستهما على تحمل مبيد الحشائش ترفلورالين Trifluralin — إلى أن الصفة المقاومة يتحكم فيها جين واحد سائد أعطياه الرمز T، وأن فعل هذا الجين يثبط بفعل جين آخر هو I – T.

الصليبيات

نقلت صفة تحمل الترايازين Triazine من حشيشة تابعة للنوع *Brassica campestris* إلى *B. napus* الذى يتبعه كل من لفت الزيت والروتاباجا. وكانت صفة تحمل المبيد قد وجدت — فى *B. campestris* — فى حقل من الذرة سبقت معاملته كثيرًا بالأترازين. تورّث هذه الصفة سيتوبلازميا، وقد تم نقلها إلى *B. napus* بطريق التهجين الرجعى مع الانتخاب فى وجود الترايازين (عن Gressel وآخرين ١٩٨٢).

ولا تنتشر زراعة الأصناف التى تتحمل السيمازين — كثيرًا — بسبب انخفاض محصولها: ربما لتسبب تغيرات أغشية البلاستيدات الخضراء فى نقص معدل البناء الضوئى.

وقد وجد McGuire & Thurling (١٩٩٢) اختلافات كبيرة فى تحمل السيمازين فى عشيرة لتلقيح مركب complex من *B. campestris*. وأمكن انتخاب سلالات ذات قدرة أكبر على تحمل السيمازين عن عشائر *B. campestris* التى تحمل المقاومة السيتوبلازمية للمبيد.

البنجر

يستعمل مبيد بيرازون Pyrazon (وهو: 5-amino–4 chloro-2-phenyl-3 (2H) pyridazione) في حقول بنجر المائدة. تمتص النباتات هذا المبيد. ولكنه يتحد مع الجلوكوز – في الجذور الحمراء – ليتحول إلى مركب آخر غير سام للنبات؛ هو: N-glucosyl pyrazon. وقد أوضحت دراسات Stephenson وآخرين (١٩٧١) أن هذا التحول الكيميائى لا يتم فى ثمانية أنواع نباتية حساسة للمبيد. كما تبين – لدى دراسة تسعة أصناف من البنجر – أن التحول يتم بمعدل ٤٤٪ – ٧٦٪ خلال ظرف ١٠ ساعات من معاملة أجزاء ورقية بالمبيد، وأن العلاقة كانت مباشرة بين معدل التحسن الكيميائى للمبيد وحساسية الصنف له.

البصل

وجد Hiller & Weigle (١٩٧٠) اختلافات بين سلالات البصل فى قدرتها على تحمل مبيد الحشائش isopropyl N-(3-chlorophenyl) carbamate (اختصارًا: CIPC)، وكانت أكثر السلالات مقاومة هى المتحصل عليها من صنف البصل Iowa Yellow Globe.

استخدامات الهندسة الوراثية فى التربية لتحمل مبيدات الحشائش

يمكن أن تؤثر مبيدات الحشائش فى النباتات من خلال تأثيرها فى البلاستيدات الخضراء، أو الميتوكوندريات، أو أيض الأحماض النووية، أو تمثيل البروتين، أو خصائص الأغشية الخلوية... إلخ. ويتطلب إنتاج نباتات تتحمل مبيدات الحشائش – بطريق الهندسة الوراثية – الإلمام بالأساس الجزيئى لكيفية إحداث هذه المبيدات لتأثيراتها.

ونجد فى أعداد كبيرة من المبيدات الفعالة أن المبيد يؤثر على خطوة إنزيمية واحدة – من مسار حيوى معين – تلعب دورًا أساسيًا فى أيض الخلية. فمثلاً.. نجد أن كلاً من

مبيدى الحشائش Glean، و Oust يؤثران فى فعل الإنزيم acetolactate synthase، أول الإنزيمات الخاصة بمسار تمثيل الأحماض الأمينية المتشعبة isoleucine، و leucine، و valine.

وعندما تعرف الخطوة الحيوية التى يؤثر فيها مبيد الحشائش.. فإن العمل على إنتاج نباتات مقاومة لهذا المبيد – بطرق الهندسة الوراثية – يمكن أن يتقدم بعد ذلك.

ومن الحالات التى حدث فيها تقدم فى هذا المجال ما يلى:

١- تحمل الجلايفوسيت Glyphosate:

يعد الجلايفوسيت المادة الفعالة فى المبيدين Roundup، و Tumbleweed المؤثرين فى عدد كبير من النباتات. وتتميز هذه المادة الفعالة كذلك بسرعة امتصاص النباتات لها وبأنها مقبولة بيئيًّا، وسريعة التحلل بواسطة كائنات التربة الدقيقة. وتتخصص هذه المادة فى التأثير على إنزيم 5-enol-pyruvylshikimate-3-phosphate (EPSP) synthase، وهو إنزيم رئيسى فى الـ shikimate pathway؛ حيث يلعب دوره فى تمثيل الأحماض الأمينية الأروماتية، ويكون نشاطه – أساسًا – فى البلاستيدات الخضراء.

وفى بداية محاولات هندسة نباتات مقاومة للجلايفوسيت.. أمكن عزل سلالة خلايا من البيتونيا *Petunia hybrida* قادرة على تحمل هذا المركب ، وتبين أنها تحتوى على كميات كبيرة من الإنزيم EPSP؛ بحيث ظهر تأثيره وأحدث مفعوله حتى فى وجود الجلايفوسيت. وتلا ذلك عزل الـ DNA المسئول عن تمثيل الإنزيم، ثم نقله إلى نباتات بيتونيا بطرق الهندسة الوراثية.

وفى محاولة أخرى أمكن عزل الجين المسئول عن تمثيل الإنزيم EPSP من *Salmonella typhimurium* المقاوم للجلايفوسيت، ثم نقله – بطرق الهندسة الوراثية – إلى نباتات التبغ، والطماطم، والحور، وكانت النباتات الناتجة قادرة على تحمل تركيزات من الجلايفوسيت بلغت ٠,٨٤ كجم/هكتار.

٢- تحمل الفوسفينوثريسين Phosphinothricin (اختصارًا PPT):

يعد الـ PPT المادة الفعالة لمبيدى الحشائش Basta، و Herbiace، وهو يثبط إنزيم glutamine synthase (اختصارًا GS)، الذى يلعب دورًا هامًّا فى تمثيل الأمونيا. وقد أمكن عزل سلالة خلايا برسيم حجازى قادرة على تحمل الـ PPT، وتبين أنها تحتوى على كميات كبيرة من الإنزيم GS؛ وبذا.. تبين أن إنتاج كميات كبيرة من هذا الإنزيم فى الخلايا النباتية يفيد فى تحمل المبيد (Walden ١٩٨٨).

تحمل الحشائش للمبيدات

تتوفر صفة تحمل الحشائش للمبيدات فى كل من العشائر الطبيعية، وعشائر الحشائش التى تعرضت كثيرًا لمبيد معين أو مبيدات معينة. وبينما تكون صفة التحمل فى الحالة الأولى (فى العشائر الطبيعية) من الخصائص الطبيعية للنوع النباتى، فإن الصفة فى الحالة الثانية تظهر كطفرة تجد فرصتها للبقاء والتكاثر فى غياب المنافسة من بقية العشيرة فى ظروف المعاملة الدائمة بالمبيد. وتفيد دراسة صفة التحمل هذه فى تربية أصناف محصولية أكثر تحملاً للمبيد، وربما فى نقل تلك الصفة - بطرق الهندسة الوراثية - إلى الأنواع المحصولية الهامة.



الفصل العاشر

تطبيقات التكنولوجيا الحيوية فى تربية وتحسين الخضر

استخدامات التكنولوجيا الحيوية فى مجال تحسين الخضر

أولاً: فى مجال الأساسيات

إن من أهم استخدامات التكنولوجية الحيوية فى مجال تحسين الخضر، ما يلى:

١- مزارع الميرستيم والبراعم: تُستخدم فى الإكثار الدقيق لأجل الإنتاج التجارى، وحفظ الجيرمبلازم والتبادل العلمى لمصادر الثروة النباتية.

٢- مزارع الأجنة الزيجوتية: تُستخدم لأجل إجراء التهجينات النوعية الصعبة.

٣- مزارع المتوك والخلايا الجرثومية الصغيرة: تستخدم لأجل إنتاج النباتات الأحادية.

٤- مزارع الخلايا والأنسجة: تستخدم لأجل الانتخاب فى المزارع in vitro، وتباينات المزارع الجسمية، وتوليد أجنة المزارع embryogenesis، وإنتاج البذور الاصطناعية artificial seeds.

٥- هندسة الكروموسومات: تستخدم فى إنتاج الجاميطات الـ 2n لأجل إنتاج الهجن النوعية.

٦- مزارع البروتوبلاست: تستخدم لأجل إنتاج الهجن الجسمية بطريقة دمج البروتوبلاست.

٧- الهندسة الوراثية: تستخدم لأجل التحويل الوراثى.

٨- الواسمات الجزيئية: وهى التى تستخدم فى برامج التربية.

٩- استخدام الـ monoclonal antibodies فى تعرف تواجد مسببات الأمراض النباتية فى مختلف الأجزاء النباتية عند إجراء التقييم للمقاومة.

ثانياً: فى مجال التطبيقات

إن من أهم تطبيقات البيوتكنولوجى فى مجال تحسين محاصيل الخضر، ما يلى:

١- تقليل طراوة الثمار وفقدها لصلابتها، وزيادة مقاومتها للتحللات بعد الحصاد، وذلك بتثبيط إنزيم البولى جالاكتيرونيز polygalacturonase – وهو إنزيم ذو علاقة وثيقة بفقد الصلابة – والإنزيمات الأخرى المحللة للجدر الخلوية.

٢- تأخير النضج، وذلك بإعاقة إنتاج الإثيلين فى الثمار.

٣- زيادة نسبة المواد الصلبة، وذلك بتثبيط نشاط إنزيم البولى جالاكتيرونيز أثناء نضج الثمار.

٤- زيادة حلاوة الثمار، وذلك بزيادة محتواها من الفراكتوز.

٥- مقاومة الحشرات بعديد من آليات الهندسة الوراثية، وخاصة بالتحويل الوراثى بجين الـ Bt-toxin.

٦- مقاومة الفيروسات وذلك بالتثبيط المضاد للشفرة antisense inhibition، أو بالتحويل الوراثى بجين الغلاف البروتينى، وبعدد من الآليات الأخرى.

٧- مقاومة عديد من الفطريات بالاعتماد على الواسمات الوراثية فى تتبع جينات الصفات المعقدة وراثيًّا فى برامج التربية، وبإنتاج النباتات للإنزيمات المحللة للفطريات.

٨- تقليل التلون البنى، وذلك بتثبيط إنزيم الـ phenylalanine ammonia lyase، وإنزيم الـ polyphenol oxidase الذى ينشط بعد التجريح.

٩- تحسين صفات المنتَج بعد التخزين والطهى بتثبيط الإنزيمات التى تحول النشا إلى سكر <http://vric.ucdavis.edu/veginfo/biotech/applications.html>، ويراجع – كذلك – Suslow & Bradford (٢٠٠٧)، وDalal وآخرون (٢٠٠٦).

تطبيقات الهندسة الوراثية فى مجال تحسين الخضر

تحسين صفات الجودة ومقاومة الأمراض والآفات

لعبت الهندسة الوراثية دورًا كبيرًا فى مجال تحسين محاصيل الخضر، ومن ذلك — على سبيل المثال لا الحصر — ما يلى:

١–تأخير النضج، وذلك بوقف إنتاج الثمار للإثيلين أو تثبيط إنتاجه، كما فى الطماطم.

٢–تأخير طراوة الثمار، وذلك بتثبيط عمل الإنزيمات المحللة للجدر الخلوية، مثل البولى جالاكتيرونيز polygalacturonase، كما فى الطماطم كذلك.

٣–تقليل التلون البنى فى الثمار (browning)، وذلك بتثبيط نشاط إنزيم البولى فينول أوكسيديز polyphenol oxidase، الذى ينشط عند تجريح الأنسجة، وكذلك الإنزيم phenyl alanine ammonia-lyase.

٤–زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة، وذلك بتثبيط نشاط إنزيم البولى جالاكتيرونيز أثناء نضج الثمار.

٥–زيادة حلاوة الثمار، وذلك بزيادة محتوى الثمار من الفراكتوز.

٦–تحسين جودة المنتج أثناء التخزين وعند طهيه، وذلك بتثبيط الإنزيمات التى تحول النشا إلى سكريات.

٧–المقاومة للحشرات، وذلك بإنتاج نباتات قادرة على إنتاج سُمّ الـ Bt بواسطة الجين cryIIIa المتحصل عليه من البكتريا *Bacillus thuringensis*.

٨–مقاومة الأمراض، مثل:

البياض الزغبى والجذر الفلينى بالاعتماد على الواسمات الوراثية فى الانتخاب للمقاومة.

عفن جذور فيثوفثورا والندوة المتأخرة بتحويل النباتات وراثيًا للقدرة على إنتاج الإنزيمات المحللة lytic enzymes للفطريات.

٩- المقاومة للفيروسات بالتحول الوراثى بالشفرة المضادة (antisense inhibition) وبتقنيات أخرى، كما فى حالات مقاومة الطماطم لفيروسى موزايك الطماطم وذبول الطماطم المتبقع، ومقاومة البطاطس لفيروسى واى البطاطس والتفاف أوراق البطاطس، ومقاومة القرعيات لفيروسات موزايك الزوكينى الأصفر وموزايك البطيخ وموزايك الخيار (VRIC ٢٠٠٧).

ومن بين الإنزيمات التى يمكن أن تؤثر فى جودة الخضر، والتى تم عزل الجينات المسئولة عن إنتاجها ما يلى:

١- إنزيمات تؤثر فى نضج الثمار.. وتتضمن ثلاث مجموعات، هى:

أ- إنزيمات تؤثر فى تمثيل الإثيلين وفعله، ومنها:

ACC synthase

ACC oxidase

Ethylene perception (E-8)

ACC diaminase

ب- إنزيمات تؤثر فى طراوة الثمار وفقدها لصلابتها، ومنها:

Polygalacturonase

Cellulase

ج- إنزيمات تؤثر فى اللون وتمثيل الصبغات، ومنها:

Phytoene synthase

٢- إنزيمات تؤثر فى جودة الثمار، ومنها:

Sucrose phosphate synthase

Invertase

Sucrose synthase

Pectin methylesterase

Polyphenol oxidase

(Roming ١٩٩٥).

تحسين القيمة الغذائية للخضر

تحسين محتوى الخضر من الفيتامينات والكاروتينات

أمكن وقف التفاعل الأول فى تفرع الـ β-epsilon من تمثيل الكاروتينويدات carotenoid biosynthesis — الذى يتحكم فيه الإنزيم lycopene epsilon cyclase (الجين LCY-e) — فى البطاطس، وهى المحصول الدرنى الفقير فى الكاروتين بطبيعته. وبالشفرة المضادة لهذا الجين فى الدرنات أمكن زيادة محتواها من الكاروتينات، بدرجة وصلت إلى ١٤ ضعف من البيتاكاروتين. كذلك أمكن فى البطاطا التعرف على مواقع QTLs لكل من المادة الجافة، ومحتوى النشا، ومحتوى البيتاكاروتين بالجذور؛ مما يتيح تحسين المحصول فى تلك الصفات.

ونظرًا لما تتميز به الخضر الثمرية — كالطماطم والفلفل — من زيادة التيسر البيولوجى لمحتواها الكاروتينى عما فى الخضر الجذرية والدرنية، فإن تحسينها فى محتواها من الكاروتينات يكون له مردود أكبر. ولقد أمكن إنتاج سلالات محولة وراثيًّا من الطماطم بجين بكتيرى (هو الجين crtl) يُشفر لتمثيل الإنزيم phytoene desaturase، الذى يحول الفيتوين إلى ليكوبين. وعلى الرغم من أن التعبير عن هذا

الجين فى الطماطم Ailsa Craig لم يرفع مستويات الكاروتينات الكلية فيها، فإن محتواها من البيتاكاروتين ازداد بمقدار ثلاثة أضعاف، وبلغ ٤٥٪ من محتواها الكلى من الكاروتينات. ولم يؤثر هذا التغير فى المحتوى الكاروتينى فى نمو وتطور السلالات المحولة وراثيًّا. كذلك تحققت زيادة فى محتوى ثمار الطماطم Ailsa Craig من كل من الكاروتينويدات: فيتوين phytoene، وليكوبين، وبيتاكاروتين، وليوتين lutein عندما حولت وراثيًّا بجين الـ phytoene synthase (وهو: crtB) من البكتيريا *Erwinia uredovora*. ولقد بلغ المحتوى الكلى من الكاروتينويدات فى ثمار النباتات المحولة وراثيًّا ٢ -٤ أضعاف المحتوى فى ثمار نباتات الكنترول.

وفى الصليبيات.. أمكن إنتاج نباتات محولة وراثيًّا فى محتواها فى عدد من الفيتامينات والأحماض الأمينية. ففى القنبيط .. أمكن إنتاج نباتات محولة وراثيًّا ذات محتوى عال من البيتاكاروتين.

ويعرف أربعة طرز isoforms من التوكوفيرولات (التى تشكل فيتامين E)، هى: ألفا وبيتا وجاما ودلتا، وهى التى تعمل كفيتامين E بنسبة ١٠٠٪، و٥٠٪، و١٠٪، و٣٪، على التوالى. ويؤدى تحويل الجاما توكوفيرول إلى ألفاتوكوفيرول فى الخضر إلى تحسين قيمتها الغذائية كفيتامين E، وهو الذى يحمى من أمراض القلب والسرطان ويبطئ الشيخوخة ويحسِّن المناعة. ولقد أمكن إنتاج خس محول وراثيًّا من الصنف Chung-chima يُعبِّر فيه عن الجين gamma-tocopherol methyl transferase من *Arabidopsis thaliana* لأجل تحسين محتوى النباتات من التوكوفيرول. ولقد ساعدت الزيادة فى النشاط الإنزيمى فى تحويل الجاماتوكوفيرول إلى الألفاتوكوفيرول الأكثر نشاط كفيتامين E.

هذا.. ويُمثِّل حامض الفوليك من كل من البادئات: petridine، و-para aminobenzoate (اختصارًا: PABA)، وحامض الجلوتامك. ولقد أمكن إنتاج طماطم

محولة وراثيًا يُعبِّر فى ثمارها عن الإنزيم GTP cyclohydrolase I، الذى يتحكم فى التفاعل الأول لتمثيل الـ petridine، وعن الإنزيم aminodeoxychorismate synthase، الذى يتحكم فى التفاعل الأول لتمثيل الـ PABA. واحتوت ثمار النباتات المحولة وراثيًا — فى المتوسط — على حامض فوليك يزيد بمقدار ٢٥ ضعف عما فى ثمار نباتات الكنترول، وذلك عندما جُمِعَ بين التحويلين الوراثيين معًا بالتهجين.

تحسين محتوى الخضر من العناصر

الكالسيوم والزنك

أمكن إنتاج جزر محول وراثيًا يزيد فيه التعبير عن ناقل الكالسيوم sCAX1؛ مما أسهم فى زيادة استفادة الجسم من الكالسيوم. كذلك أمكن تحويل الخس وراثيًا بطفرة الـ metallothionein (وهى: β-cDNA) من الفئران؛ مما أدى إلى زيادة محتوى النباتات من الزنك حتى ٤٠٠ ميكروجرام/جم وزن جاف.

الفوسفور

تحتوى بذور الخضر المأكولة — عادة — على كميات جيدة من الفوسفور، إلاّ أن معظمه يكون فى صورة حامض فيتك phytic acid (وهى صورة الـ inositol hexaphosphate)، وهى صورة الفوسفور المخزن التى لا يمكن هضمها إلاّ بواسطة المجترات، والتى ليس منها الإنسان. هذا بالإضافة إلى أن حامض الفيتيك يمكن أن يعمل كخالب لبعض المعادن الهامة، مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد والزنك؛ فلا يستفيد منها الإنسان. ولقد أمكن التعرف على طفرات فى عدة محاصيل (مثل الذرة والأرز والقمح والشعير وفول الصويا) تحتوى بذورها على تركيزات منخفضة من حامض الفيتك، وعلى تركيزات عالية من الفوسفور. وتبع ذلك اكتشاف طفرات مماثلة فى العدس والفاصوليا. هذا.. إلا أن انخفاض محتوى البذور من حامض الفيتك كان مصاحبًا بانخفاض فى إنبات البذور، والقدرة على تحمل الشدِّ، والمحصول. وأمكن مؤخرًا استحداث طفرات ينخفض محتوى بذورها من حامض الفيتك، وتتماثل فى محصولها مع نظيراتها العادية.

تحسين محتوى الخضر من الفلافونويدات

تُعد الفلافونويدات flavonoids من البولى فينولات التى تفيد فى منع الإصابة ببعض الأمراض المزمنة. ولقد أمكن التعرف على جينات فى مسار تمثيل الفلافونويدات (مثل الـ: stilbene synthase، والـ chalcone synthase، والـ chalcone reductase، والـ chalcone isomerase، والـ flavone synthase) تُفيد فى إنتاج فلافونويدات جديدة فى الطماطم، وأدى وجودها إلى زيادة محتوى الثمار من الفلافونويدات بمقدار ثلاثة أضعاف. ويعنى ذلك إمكان استخدام تلك الجينات فى أغراض الهندسة الوراثية.

كذلك أمكن تحويل الخس وراثيًّا ليحتوى على البولى فينول resveratrol (الذى قد يقى من الإصابة بالسرطان وبأمراض القلب التاجية) بتركيزات عالية.

ومن المعروف أن الأنثوسيانينات تعد من مضادات الأكسدة القوية. ولقد أمكن بطرق الهندسة الوراثية إنتاج قنبيط وبطاطس يحتويان على صبغات أنثوسيانينية.

إنجازات أخرى للهندسة الوراثية فى مجال تحسين القيمة الغذائية والطبية للخضر

من بين الإنجازات الأخرى للهندسة الوراثية فى مجال تحسين القيمة الغذائية والطبية لمحاصيل الخضر، ما يلى:

المحصول	التحول الوراثى
الكرنبيات، وخاصة البروكولى	زيادة محتوى الجلوكوسينولات وجعل النباتات يقتصر إنتاجها — أساسًا — على الأيزوثيوسيانينات
البصل	احتواء النباتات على الشفرة المضادة لجين الـ alliinase، وكذلك نباتات يُوقف فيها فعل جين الإنزيم المسئول عن إنتاج المركب المسيِّل للدموع

يتبع

المحصول	التحول الوراثى
الخس	إنتاج خس يحتوى على البروتين miraculin الذى يُكسبه طعمًا حلوًا، ويمكن استخدامه فى التحلية.
الطماطم	إنتاج طماطم قادرة على إنتاج البروتين thaumatin الذى يمكن استخدامه فى التحلية.
البطاطس	إنتاج بطاطس تحتوى درناتها على الإنيولين.
الكاسافا	إنتاج نباتات ذات محتوى منخفض من المواد السيانوجينية
الفول الرومى	إنتاج نباتات ينخفض فيها محتوى التانينات
الطماطم	إنتاج ثمار قادرة على إنتاج بعض اللقاحات vaccines التى يمكن تناولها عن طريق الأكل بدلاً من الحقن بها، مثل تلك الخاصة بداء الكلب، وفيرس التهاب الكبد E (أو HEV)، وفيرس EV71 (وهو: enterovirus)

(عن Dias & Ortiz ٢٠١٢).

استخدام الهندسة الوراثية فى التحكم فى إجراء التلقيحات عند إنتاج الهجن

أمكن التحكم فى إجراء التلقيحات لأجل إنتاج بذور الهجن التجارية بطرق الهندسة الوراثية، فيما يعرف بالـ barnase-barstar system. ويرجع الأساس فى هذا النظام إلى بكتيريا التربة *Bacillus amyloliquefaciens* التى تُنتج بروتين دفاعى يعرف باسم بارنيز barnase يقوم بتحليل رنا RNA الأعداء المحتملة للبكتيريا. وتقوم البكتيريا بحماية نفسها من الـ barnase بإنتاج بروتين آخر يُعرف باسم بارستار barstar، وهو الذى يلتحم بالـ barnase؛ ليفقده فاعليته. وقد أمكن الاستفادة من هذا النظام بتحويل الأصناف أو السلالات التى يُرغب فى استخدامها كأمهات فى الهجن بالجين المسئول عن تمثيل البروتين barnase فى الأنسجة المسئولة عن إنتاج حبوب

اللقاح؛ مما يُعيق إنتاجها لحبوب اللقاح؛ وتُصبح بذلك عقيمة الذكر. وفى المقابل .. يتم تحويل الأصناف أو السلالات التى يُرغب فى استخدامها كآباء فى الهجن بالجين المسئول عن إنتاج البروتين barstar. وعند استخدام حبوب لقاح النباتات الـ barstar فى تلقيح النباتات الـ barnase عقيمة الذكر فإن الهجين الناتج يكون كامل الخصوبة لأنه يكون محتويًا على جينى الـ barnase والـ barstar معًا. وقد أمكن الاستفادة من هذا النظام فى إنتاج البذرة الهجين فى أنواع محصولية مختلفة، منها الذرة والشيكوريا <http://www.geo-pie.comell.edu/traits/polcont.html>.

مصادر الكتاب

حسن، أحمد عبد المنعم (١٩٩٣). تربية محاصيل الخضر. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٧٩٩ صفحة.

حسن، أحمد عبد المنعم (٢٠٠٥ أ). الأسس العامة لتربية النبات. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٤٧٧ صفحة.

حسن، أحمد عبد المنعم (٢٠٠٥ب). طرق تربية النبات. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٣٩٣ صفحة.

حسن، أحمد عبد المنعم (٢٠٠٥ج) تحسين الصفات الكمية: الإحصاء البيولوجي وتطبيقاته في برامج تربية النبات – ٢٥١ صفحة.

حسن، أحمد عبد المنعم (٢٠٠٧). التكنولوجيا الحيوية وتربية النبات: تطبيقات مزارع الأنسجة والهندسة الوراثية في مجال الإنتاج الزراعي والتحسين الوراثي للنباتات. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٧٨٣ صفحة.

حسن، أحمد عبد المنعم (٢٠٠٨). تطبيقات تربية النبات في مكافحة الأمراض والآفات. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٨٥٨ صفحة.

حسن، أحمد عبد المنعم (٢٠١٣). تربية النبات لتحمل الظروف البيئية القاسية. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٥٤٤ صفحة.

فهمي، عادل سعد الدين عبد القادر وآخرون (١٩٧٢). تعريف بالبحوث الزراعية التي أجريت في مصر (١٩٠٠–١٩٧٠). الجزء الثاني: الحاصلات البستانية. المركز القومي للإعلام والتوثيق – الدقي – الجيزة.

Abobaker, M. A., M. A. EL-Sherif, G. A. Karaman, and S. H. Gad El-Hak. 1984. Inheritance of resistance to root- knot nematodes *Meloidogyne* spp. in some cowpea cultvars. Proc. 2nd Mediterranean Conference of Genetics, Cairo, pp. 1-8.

Adeniji, A. A. and D. P. Coyne. 1981. Inheritance of resistance to trifluralin toxicity in *Cucurbita moschata* Poir. HortScience 16: 774-775.

Agrawal, R. L. 1998. Fundamentals of plant breeding and hybrid seed production. Science Publishers, Inc., Enfield, NH, USA. 394 p.

Agrios, G. N. 1980. Escape from disease, Vol. V: 17-37. In: J. G. Horsfall and E. B. Cowling (eds). Plant disease: an advanced treatise. Academic Pr., N. Y.

Ammati, M., I. J. Thompson, and H. E. Mckinney. 1986. Retention of resistance to *Meloidogyne incognita in Lycopersicon* genotypes at high soil temperature, pp. 69-82. In: Fresh Market Tomato Advisory Board, California, Fresh Market Tomato Research Program. 1984/85 Annual Report. Dinuba, California.

Andrade, J. L., A. Larqué-Saavedra, and C. L. Trejo. 1995. Proline accumulation in leaves of four cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. with different drought resistance. Phyton (Buenos Aires) 57 (2): 149-157.

Andrus, C. F. 1953. Evaluation and use of disease resistance by vegetable breeders. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 61: 434-446.

Bagett, J. R. and W. A. Frazier. 1982. Oregon II: Early parthenocarpic tomato breeding line. HortScience 17: 984-985.

Aoki, S. 1990. Measurement of heat sensitivity in cucumber leaves by chlorophyll fluorescence method. Tropical Agriculture Research Series No. 23: 239-247.

Aoki, S., M. Oda, and K. Hosino. 1989. Varietal differences in chilling-induced depression of photosynthesis and leaf growth in cucumber seedlings. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 58 (1): 173-179.

Barker, H., K. D. Webster, C. A. Jolly, B. Reavy, A.. Kumar, and M. A. Mayo. 1994. Enhancement of resistance to potato leafroll virus multiplication in potato by combining the effects of host genes and transgenes. Molecular Plant-Microbe Interactions 7 (4): 528-530.

Basra, A. S. (ed). 2000. Hybrid seed production in vegetables: rationale and methods in selected crops. Food Products Press, N. Y. 135 p.

Bassett, M. J. (ed).). 1986. Breeding vegetable crops. Avi Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut. 584 p.

Berry. S. Z. 1969. Germinating response of the tomato at high temperature. HortScience 4: 218-219.

Bhagsari, A. S. and D. A. Ashley. 1990. Relationship of photosynthesis and harvest index to sweet potato yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 288-293.

Blaker, N. S. and J. D. Hewitt. 1987. Comparison of seeding and mature plant resistance to *Phytophtora parasitica* in tomato. HortScience 22: 103-105.

Boller, T. and F. Meins (eds.). 1992. Genes involved in plant defense. Springer-Veriag/Wien, N. Y.

Booy, G., T. C. Wehner, and S. F. Jenkins, Jr. 1987. Resistance of cucumber lines to *Rhizoctonia solani* damping-off: not related to fruit rot resistance. HortScience 22: 105-108.

Bosland, P. W. and P. H. Williams. 1987. Sources of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp *conglutinans* race 2: HortScience 22: 669-670.

Bosland, P. W., P. H. Williams, and R. H. Morrison. 1988. Influence of soil temperature on the expression of yellows and wilt of crucifers by *Fusarium oxysporum*. Plant Dis. 72: 777-780.

Blum, A. 2007. Mitigation of drought stress. www.plantstress.com

Blum, A. 1989. Breeding methods for drought resistance. In: H. G. Jones, T. J. Flowers, and M. B. Jones (Eds) "Plants Under Stress"; pp. 197-215. Cambridge Univ. Pr., Cambridge.

Blum, A. 2009. Effective use of water use (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Research 12: 119-123.

Boswell, V. R. 1937. Improvement and genetics of tomatoes, pepper, and eggplant. In: United States Department of Agriculture "1937 Yearbook of Agriculture: Better Plants and Animals II"; pp. 176-206. Washington. D. C.

Castagnone-Sereno, P. 2002. Genetic variability of nematodes: a threat to the durability of plant resistance genes?. Euphytica 124: 193-199.

Cattivelli, L. et al. 2007. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research. doi: 10.1016/j.fcr.2007.07.004.

CGC Gene List Committee. 1982. Update of cucurbit gene list and nomenclature rules. Cucurbit Genetics Cooperative Rep. No. 5: 62-66.

Charrier, A., M. Jacquot, S. Hamon, and D. Nicolas (eds.). Tropical plant breeding. Science Pub., Inc., Enfield, NH, USA. 569 p.

Chen, Z. et al. 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K^+ flux: a case study. Plant, Cell and Environment 28: 1230-1246.

Christiansen, M. N. 1979. Physiological basis for resistance to chilling. HortScience 14: 583-586.

Clarke, J. M. and T. F. Townley-Smith. 1984. Screening and selection techniques for improving drought resistance. *In* P. B. Vose and S. G. Blixt (Eds) "Crop Breeding: a Contemporary Basis"; pp. 137-162. Pergamon Pr., N. Y.

Collins, W. W., G. Wilson, S. Arrendell, and L. F. Dickey. 1987. Genotype x environment interactions in sweet potato yield and quality factors. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 579-583.

Coté, F., J. E. Thompson, and C. Willemot. 1993. Limitation to the use of electrolyte leakage for the measurement of chilling injury in tomato fruit. Postharvest Biol. Technol. 3 (2): 103-110.

Coyne, D. P. 1968. Correlation, heritability, and selection of yield components in field beans, *Phascolus vulgaris* L. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 93: 388-396.

Coyne, D. P. 1980. Modification of plant architecture and crop yield by breeding. HortScience 15: 244-247.

Crane, M. B. and W. J. C. Lawrence. 1934. The genetics of garden plants. Macmillan, London.

Cuartero, J. and J. I. Cubero. 1982. Phenotypic, genotypic and environmental correlation in tomato (*Lycopersicon esculentum*). Euphytica 31: 151-159.

Dalal, M., R. G. Dani, and P. A. Kumar. 2006. Current trends in the genetic engineering of vegetable crops. Sci. Hort. 107: 215-225.

Daly, J. M. and H. W. Knoche. 1982. The Chemistry and biology of pathotoxins exhibiting host-selectivity. Adv. Plant Pathol. 1: 83-138.

Da Silva Dias, J. C. 2010. Impact of improved vegetable cultivars in overcoming food insecurity. Euphytica 176: 125-136.

De Jong, H. 1983. Inheritance of sensitivity to the herbicide Metribuzin in cultivated diploid potatocs. Euphytica 32: 41-48.

Delaney, D. E. and R. L. Lower. 1987. Generation means analysis of plant characters in crosses between two determinate cucumber lines and *Cucumis sativus* var. *hardwickii*. J. Amer Soc. Hort. Sci. 112: 707-711.

De La Pena, R. and J. Hughes. 2007. Improving vegetable productivity in a variable and changing climate. SAT eJournal 4 (1): 1-22. (ejourna.icrisat.org).

Denna. D. W. 1970. Leaf wax and transpiration in *Brassica oleracca*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95: 30-32.

Dhingra, O. K. and J. B. Sinclair. 1985. Basic plant pathology methods. CRC Press,, Inc., Boca Raton, Florida.

Dias, J. S. and R. Ortiz. 2012. Transgenic vegetable breeding for nutritional quality and health benefits. Food Nutr. Sci. 3: 1209-1219.

Dickson, M. H. and J. E. Hunter. 1987. Inheritance of resistance in cabbage seedings to black rot. HortScience 22: 108-109.

Di Paola, M. L., G. Agati, F. Fusi, and P. Mazzinghi. 1995. Detecation of plant chilling sensitivity by the F685/F730 chlorophyll fluorescence ratio, pp. 881-884. In: P. Mathis (ed.) Photosynthesis: from light to biosphere. Vol. IV. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Durbin, R. D. 1981. Applications, pp. 495-505. In: R. D. Durbin (ed.). Toxins in plant disease. Academic Pr., N. Y.

Dwelle, R. B. 1985. Photosynthesis and photoassimilate partitioning. In: P. H. Li (Ed.) "Potato Physiology"; pp. 35-58. Academic Pr., N. Y.

Ekanayake, I. J. and D. J. Midmore. 1992. Genotypic varitation for root pulling resistance in potato and its relationship with yield under water-deficit stress. Euphytica 61 (1): 43-53.

Fassuliotis, G. 1985. The role of the nematologist in the development of resistant cultivars, pp. 233-240. In: J. N. Sasser and C. C. Carter (eds.). An advanced treatise on *Meloidogyne*. Vol. 1. Biology and control. Department of Plant Pathology, North Carolina State University, Raleigh, N. C.

Faulkner, J. S. 1982. Breeding herbicide–tolerant crop cultivars by convential methods. In: H. M. LeBaron and J. Gressel (Eds). "Herbicide Resistance in Plants"; pp. 235-256. John Wiley & Sons, Inc., N. Y.

Fawole, I., W. H. Gabelman, G. C. Gerloff, and E. V. Nordheim. 1982. Heritability of efficiency in phosphorus utilization in beans (*Phascolus vulgaris* L.) grown uner phosphorus stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 94-97.

Fery, R., L. and H. F. Harrison, Jr. 1990. Inheritance and assessment of Bentazon herbicide tolerance in "Santaka" pepper. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 854-857.

Flowers, T. J. 2004. Improving crop salt tolerance J. Exp. Bot. 55 (396): 307-319.

Flower, D. B. and A. E. Limin. 2007. Mitigation of cold stress. The Internet.

Flowers, T. J. and S. A. Flowers. 2005. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders?. Agricultural Water Management 78 (1-2): 15-24.

Foolad, M. R. 2004. Recent advances in genetics of salt tolerance in tomato. Plant Cell Tissue and Organ Culture 76: 101-119.

Fraser, R. S. S. 1990. The genetics of resistance to plant viruses. Ann. Rev. Phytopathol. 28: 179-200.

Frey, K. J. 1981. Capabilities and limitations of conventional plant breeding, pp. 15-62. In: K. O. Rachie and J. M. Lyman (eds.). Genetic engineering for crop improvement. The Rockeffeller Foundation.

George, W. L., Jr. 1970. Genetic and cnvironmental modification of determinate plant habit in cucumbers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95: 583-586.

George, W. L. 1971. Influence of genetic background on sex conversion by 2-chloethlyphosphonic acid in monoecious cucumbers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 152-154.

Greenleaf, W. H. 1986. Pepper breeding, pp. 67-134. In: M. J. Bassett (ed.). Breeding vegetable crops. Avi Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut.

Gressel, J., G. Ezra. and S. M. Jain. 1982. Genetic and chemical manipulation of crops to confer tolerance to chemicals. In: J. S. McLaren (Ed.) "Chemical Manipulation of Crop Growth and Development"; pp. 79-91. Butterworth Scientific, London.

Gupta, S. K. (ed.). 2000. Plant breeding: theory and techniques. Agrobios (India), Jodhpur. 387 p.

Hajjar, R. and T. Hodgkin. 2007. The use of wild relatives in crop improvement: a survey of developments over the last 20 years. Euphytica 156 (1-2): 1-13.

Hale, M. G. and D. M. Orcutt. 1987. The physiology of plants under stress. John Wiley & Sons, N. Y. 206 p.

Hall, A. E. 1992. Breeding for heat tolerance. Plant Breeding Reviews 10: 129-168.

Hall, A. 2011. The mitigation of heat stress. PlantStress web site. The Internet.

Hansche, P. E. and W. Beres. 1980. Genetic remodeling of fruit and nut trees to facilitate cultivar improvement. HortScience 15: 710-715.

Hanna, G. C., A. G. Gentile, and K. A. Kimble. 1961. An improved method for determining resistance to Fusarium stem rot of sweetpotatoes. Plant. Dis. Reptr. 45: 562-563.

Hasegawa, P. M., R. A. Bressan, S. Handa and A. K. Handa. 1984. Cellular mechanisms of tolerance to water stress. HortScience 19: 371-377.

Hassan, A. A. and K. E. Abdel-Ati. 1986. Assessment of broomrape tolerance in the genus *Lycopersicon*. Egypt. J. Hort. 13: 153-157.

Hassan, A. A., D. L. Strider, and T. R. Konsler. 1968. Application of cotyledonary symptoms in screening for resistance to tomato bacterial canker and in host range studies. Phytopathology 58: 233-239.

Hassan, A. A., D. H. Wallace, and R. E. Wilkinson. 1971a. Genetics and heritability of resistance to *Fusarium solani* f. *phaseoli* in beans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 623-627.

Hassan, A. A., R. E. Wilkinson, and D. H. Wallace. 1971b. Genetics and Heritability of resistance to *Thielaviopsis basicola* in *beans*. J. Amer Soc. Sci. 96: 628-630.

Hassan, A. A., U. A. Obaji, M. S. Wafi, N. E. Quronfilah, H. H. Al-Masry, and M. A. El-Rays. 1990. Evaluation of domestic and wild *Cucumis melo* germplasm for resistance to the yellow stunting disorder. Egypt. J. Hort. 17: 181-199.

Hassan, A. A., N. E. Quronfilah, U. A. Obaji, M. A. El-Rays, and M. S. Wafi. 1991a. Evaluation of domestic and wild *Citrullus* germplasm for resistance to the yellow stunting disorder. Egypt. J. Hort. 18: 11-21.

Hassan, A. A., M. S. Wafi, N. E. Quronfilah, U. A. Obaji, M. A. El-Rays, and F. Al-Izabi. 1991b. Evaluation of domestic and wild *Lycopersicon* germplasm for tomato yellow leaf curl virus resistance. Egypt. J. Hort. 18: 23-43.

Hughes, S. G., J. A. Bryant, and N. Smirnoff. 1989. Molecular biology: application to studies of stress tolerance. In: H. G. Jones, T. J. Flowers, and M. B. Jones (Eds.) "Plants Under Stress"; pp. 131-155. Cambridge Univ. Pr.

Ibrahim, A. M. H. and J. S. Quick. 2001. Heritability of heat tolerance in winter and spring wheat. Crop Sci. 41: 1401-1405.

ISAAA, International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications. 2008. Pocket K No. 32: Biotechnology for the development of drought tolerant crops. The Internet.

Hedley, C. L. and M. J. Ambrose. 1981. Designing "leafless" plants for improving yields of the dried pea crop. Adv. Agron. 34: 225-272.

Hiller, L. K. and J. L. Weigle. 1970. Differential tolerance of several inbreds of onion *Allium cepa* L. to certain herbicides. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95: 105-107.

Howard, H. W. 1969. Genetics of the potato, *Solanum tuberosum*. Logos Pr. Limited, London. 126 p.

Iezzoni, A. F., C. B. Peterson, and G. E. Tolla. Genetic analysis of two perfect-flowered mutants in cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 678-681.

Inglis, D. A., D. J. Hagedorn, and R. E. Rand. 1988. Use of dry inoculation to evaluate beans for resistance to anthracnose and angular leaf spot. Plant Dis. 72: 771-774.

Jamwal, R. S. and P. P. Sharma. 1986. Inheritance of resistance to black rot (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*) in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). Euphytica 35: 941-943.

Jones, H. A. and L. K. Mann. 1963. Onions and their allies. Interscience Pub. Inc., N. Y. 286 p.

Kalloo, G. 1988. Vegetable breeding. Vol. I. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 239.

Kalloo, 1988. Vegetable breeding. Vol. II. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 213 p.

Kalloo, G. and B. O. Bergh. 1993. Genetic improvement of vegetable crops. Pergmon Press, Oxford. 833 p.

Kasha, K. J., Y. S. Shim, E. Simion, and J. Letarte. 2006. Haploid production and chromosome doubling. Acta Hort. No. 725: 817-828.

Kauffman, C. S. and R. L. Lower. 1967. Inheritance of an extreme dwarf plant type in the cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 150-151.

Khalil, R. M. H. 1974. Genetical and physiological studies on some pepper varieties. M. S. thesis, Ain Shams Univ. 87 p.

Khan, H. R., J. G. Paull, K. H. M. Siddique, and F. L. Stoddard. 2010. Faba bean breeding for drought-affected environments: a physiological and agronomic perspective. Field Crops Research 115: 279-286.

Kiraly, Z., Z. Klement, F. Solymosy, and J. Voros. 1974. Methods in plant pathology with special reference to breeding for disease resistance. Elsevier Sci. Pub. Co., London. 509 p.

Kole, C. (ed.). 2007. Genome mapping and molecular breeding. Vol. 3, pulses, sugar, and tuber crops; Vol. 5, Vegetables. Springer-Verlag, Berlin.

Krarup. A. and D. W. Davais. 1970. Inheritance of seed yield and its components in a six-parent diallel cross in peas. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95: 795-797.

Kumar, T. P. and K. V. Peter. 2000. Breeding of vegetable crops, pp. 243-278. In: V. L. Chopra (ed.). Plant breeding: theory and practice. Oxford & IBH Pub. Co. Pvt. Ltd., New Delhi, India.

Kupper, R. S. and J. E. Staub. 1988. Combinig ability between lines of *Cucumis sativus* L. and *Cucumis sativus* var. *hardwickii* (R.) Alef. Euphytica 38: 197-210.

Kuti, J. O. and T. J. Ng. 1989. Combining ability estimates for muskmelon tolerance to *Myrothecium roridum* and its toxic metabolite, Roridin E. J. Amer. Soc. Hort. Sci: 114: 319-321.

Lapins, K. O. 1976. Inheritance of compact growth type in apple. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 133-135.

Laterrot., H. 1985. Susceptibility of the (Pto) plants to Lebaycid insecticide: a tool for breeders?. Tomato Genet. Coop. Rep. No. 35: 6.

Leike, H. and W. Bauch. 1992. Micropropagation of hybrid lines in vegetable breeding, pp. 3-25. In: Y. P. S. Bajaj (ed.). Biotechnology in agriculture and forestry. Vol. 19. High-tech and micropropagation III. Springer-Verlag, Berlin.

Leone, G. and A. E. G. Tonneijck. 1990. A rapid procedure for screening the resistance of bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) to *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum*. Euphytica 48: 87-90.

Lower, R. L. and M. D. Edwards. 1986. Cucumber breeding, pp. 173-207. In: M. J. Bassett (ed.). Breeding vegetable crops. Avi Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut.

Luby, J. J. and D. W. Shaw. 2009. Plant breeders' perspectives on improving yield and quality traits in horticultural food crops. HortScience 44: 20-22.

Machado, V. S. 1982. Inheritance and breeding potential of triazine tolerance and resistance in plants. In: H. M. LeBaron and J. Gressel (Eds) "Herbicide Resistance in Plants"; pp. 257-273. John Wiley & Sons, Inc., N. Y.

Machado, V. S., S. C. Phatak and I. L. Nonnecke. 1982. Inheritance of tolerance of the tomato (*Lycopersicon esculenlum* Mill.) to metribuzin herbicide. Euphytica 31: 129-138.

Maksoud, M. A., A. A. Hassan, and R. Khalil. 1977. Inheritance of fruit weight, size, and dimeations in pepper. *Capsicum annuum* L. Zagazig J. Agr. Res. 4: 53-63.

Marx, G. A. and W. Mishanec. 1962. Inheritance of ovule number in *Pisum sativum* L. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 80: 462-467.

Marshall, H. G. 1982. Breeding for tolerance to heat and cold. In: M. N. Christiansen and C. F. Lewis (Eds). "Breeding Plants for Less Favorable Environments"; pp. 47-70. John Wiley & Sons, Inc., N. Y.

McGuire, G. M. and N. Thurling. 1992. Nuclear genetic control of variation in simazine tolerance in oilseed brassicas. II. Selection for simazine tolerance in a *Brassica campestris* population. Euphytica 61: 153-160.

McLaurin, W. J. and S. J. Kays. 1993. Substantial leaf shedding – a consistent phenomenon among high yielding sweetpotato cultivars. HortScience 28 (8): 826-827.

Miller, J. C., Jr. and J. E. Quisenberry. 1976. Inheritance of time to flowering and its relationship to crop maturity in cucumber. J. Amer. Soc. 101: 497-500.

Miller, J. C., Jr. L. R. Baker, and D. Penner. 1973. Inheritance of tolerance to chloramben methyl ester in cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98. 386-389.

Mullineaux, P. M. 1992. Genetically engineered plants for herbicide resistance. In: A. M. R. Gatethouse, V. A. Hilder, and D. Boulter (Eds) "Plant Genetic Manipulation for Crop Protection"; pp. 75-107. Plant Breed. Abstr. 1992, 62: 7517.

Munger, H. M., Y. Zhang, S. L. Fenton, and M. Kyle. 1995. Leaf blower adapted for large-scale inoculation of plants with mechanically transmitted viruses. HortScience 30 (6): 1266-1267.

Munns, R., S. S. Goyal, and J. Passioura. 2011. Salinity stress and its mitigation. http://www.plantstress.com.

Myers, O., Jr. 1986. Breeding soybeans for drought resistance. Plant Breed. Rev. 4: 203-243.

Neumann, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. Plant, Cell and Environment 20: 1193-1198.

Norlyn, J. D. 1980. Breeding salt-tolerant crop plants. In: R. C. Valentine and A. Hollaender (Eds) "Genetic Engineering of Osmoregulation"; pp. 293-309. Plenum Pr., N. Y.

Oitto, W. A., T. van der Zwet, and H. J. Brooks. 1970 Rating of pear cuitivars for resistance to fire blight. HortScience 5: 474-476.

Pandey, S. and E. T. Gritton. 1975. Inheritance of protein and other agronomic traits in a diallel cross of pea. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100: 787-790.

Pandita, M. L. and Wm. T. Andrew. 1967. A. correlation between phosphorus content of leaf tissue and days to maturity in tomato and lettuce. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 91: 544-549.

Parsons, L. R. 1979. Breeding for drought resistance: what plant characteristics impart resistance?. HortScience 14: 590-593.

Pedlay, K. F. and G. B. Martin. 2003. Molecular basis of Pto-mediated resistance to bacterial speck disease in tomato. Ann. Rev. Phytopathol. 41: 215-243.

Peterson, C. E. 1975. Plant introductions in the improvement of vegetable cultivars. HortScience 10 (6): 575-579.

Phatak, S. C. and C. A. Jaworski. 1985. UGA 1113MT and UGA 1160MT metribuzin-tolerant tomato germplasm. HortScience 20: 1132.

Provvidenti, R. and R. O. Hampton. 1992. Sources of resistance to viruses in Potyviridae, pp. 189-211. In: Archives of Virology. Supplementum 5. Springer-Verlag,/Wien, Vienna, Austria.

Pyke, K. A. and C. L. Hedley. 1983. The effect of foliage phenotype and seed size on the crop growth of *Pisum sativum* (L). Euphytica 32: 193-203.

Quisenberry, J. E. 1979. Breeding for drought resistance and plant water use efficiency. In: H. Mussell and R. C. Staples (Eds) "Strees Physiology in Crop Plants"; pp. 193-212. John Wiley & Sons, N. Y.

Rahe, J. E. 1981. Lack of correlation between field and laboratory tests for resistance with special reference to white rot of onions, pp. 193-200. In: R. C. Staples and G. H. Toenniessen (eds). Plant disease control: resistance and susceptibility. Wiley, N. Y.

Rains, D. 1981. Salt tolerance – new developments. In: J. T. Manassah and E. J. Briskey (Eds): Advances in Food-Producing Systems for Arid and Semiarid Lands"; pp. 431-456. Academic. Pr., N. Y.

Ramage, R. T. 1980. Genetic Methods to breed for salt tolerance in plants. In: D. W. Rains, R. C. Valentine, and A. Hollaender (Eds) "Genotypic Engineering of Osmoregulation: Impact on Plant Productivity for Food, Chemicals, and Energy"; pp. 311-318. Plemum Pr., N. Y.

Rao, S. A. and T. McNeilly. 1999. Genetic basis of variation for salt tolerance in maize (*Zea mays* L.). Eyphytica 108: 145-150.

Remotti, P. C. 1998. Somaclonal variation and *in vitro* selection for crop improvement, pp. 169-201. In: S. M. Jain, D. S. Brar, and B. S. Ahloowalia (eds.). Somaclonal variation and induced mutations in crop plants.

Robinson, R. W., H. M. Munger, T. W. Whitaker, and G. W. Bohn. 1976. Genes of the cucurbitaceae. HortScience 11: 554-568.

Robbins, M. L. and F. F. Angell. 1971. Tomato anthracnose: a hypodermic inoculation technique for determining genetic reaction. J. Amer. Soc. Hort. Sci.: 95: 118-119.

Roming, W. R. 1995. Selection of cultivars for lightly processed fruits and vegetables. HortScience 30 (1): 38-40.

Russell, G. E. 1978. Plant breeding for pest and disease resistance. Butterworths, London. 485 p.

Sairam, R. K. and A. Tyagi. 2004. Pyhsiology and molecular biology of salinity stress in plants. Current Science 86 (3): 407-421.

Scott, J. W., S. M. Olson, and J. A. Bartz. 2007. Gulf Stream hybrid tomato; Fla. 8124C and Fla. 8249 breeding lines. Tomato Genetics Cooperative Rep. No. 58: 41.

Scully, B. T. and D. H. Wallace. 1990. Variation in and relationship of biomass, growth rate, harvest index, and phenology to yield of common bean. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 218-225.

Scully, B. T., D. H. Wallace, and D. A. Vjands. 1991. Heritability and correlation of biomass, growth rates, harvest index, and phenology to the yield of common beans J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 127-130.

Shabala, S., T. A. Cuin, and J. K. Schjorring. 2008. Potassium transport and plant salt tolerance. Physiologia Plantarum 133 (4): 651-663.

Shands, H. L. and G. A. White. 1990. New crops in the U. S. national plant germplasm system, pp. 70-75. In: J. Janic and J. E. Simon (eds.). Advances in new crops. Timber Press, Portland, Oregon.

Shannon, M. C. 1979. In quest for rapid screening techniques. HortScience 14: 587-589.

Shannon, M. C. 1997. Adaptation of plants to salinity. Adv. Agron. 60: 75-120.

Shannon, M. C. 1997. Genetics of salt tolerance in higher plants, pp. 265-289. In: P. K. Jaiwal, R. P. Singh, and A. Gulati (eds.). Strategies for improving salt tolerance in higher plants. Science Pub., Inc., Enfield, New Hampshie, USA.

Singh, B. D. 1993. Plant breeding: principles and methods. Kaylani Publishers, Ludhiana, New Delhi. 896 p.

Smeets, L. and F. Garretsen. 1986. Inheritance of growth characters of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under low energy conditions. Eyphytica 35: 877-884.

Stark, J. C., J. J. Pavek, and I. R. McCann. 1991. Using Canopy temperature measurements to evaluate drought tolerance of potato genotyps. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 412-415.

Staskawicz, B. J., F. M. Ausubel, B. J. Baker, J. G. Ellis, and J. D. G. Jones. 1995. Molecular genetics of plant disease resistance. Science (Washington) 268 (5211): 661-667.

Staub, J. E. and L. K. Crubaugh. 1989. Tolerance of cucumber to chloramben herbicide. Cucurbit Genet. Coop. Rep. No. 12: 7-8.

Stavarek, S. J. and D. W. Rains. 1984. The development of tolerance to mineral stress. HortScience 19: 377-382.

Stefanov, D., V. Petkova, and L. D. Denev. 2011. Screening for heat tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines and cultivars using JIP-test. Sci. Hort. 128 (1): 1-6.

Stephenson, G. R., L. R. Baker, and S. K. Ries. 1971. Metabolism of Pyrazon in susceptible species and inbred lines of tolerant red beet (*Beta vulgaris* L.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 145-147.

Sterck, L., S. Rombauts, K. Vandepoele, P. Rouzé, and Y. van der Peer. 2007. How many genes are there in plants (... and why are they there)?. Current Opinion in Plant Biology 10 (2): 199-203.

Stevens, M. A. 1981. Resistance to heat stress in crop plants. In: J. T. Manassah and E. J. Briskey (Eds) "Advances in Food-Producing Systems for Arid and Semiarid Lands"; pp. 457-487. Academic Pr., N. Y.

Stevens, M. A. and J. Rudich. 1978. Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield and quality in the tomato. HortScience 13: 673-678.

Stoffella, P. J. and B. A. Kahn. 1986. Root system effects on lodging of vegetable crops. HortScience 21: 960-963.

Stoskopf, N. C. 1981. Understanding crop production. Reston Pub. Co., Inc., Reston, Virginia. 433 p.

Strange, R. N. 1993. Plant disease control: towards environmentally acceptable methods. Chapman & Hall, London. 354 p.

Subramanya, R. 1983. Transfer of genes for multiple flowers from *Capsicum chinense* to *Capsicum annuum*. HortScience 18: 747-749.

Suslow, T. V. and K. J. Bradford. 2007. Vegetable biotechnology: applications of biotechnology in vegetable breeding, production, marketing, and consumption. Vegetable Research & Information Center, University of California. The Internet.

Tarkanov, G. I., S. A. Dovedar, L. G. Avakimova, E. N. Andreeva and E. A. Sysina. 1978. Methods of increasing fruit set in tomato under high temperature conditions. (In Russian). Lenningrad, USSR. pp. 123-129. Referativnyi Zhurnal (1979) 6. 55. 330.

Thakur, P. S. 1991. Effect of water stress on proline and relative water content in tomato cultivars. Indian J. Hort. 48 (1): 36-41.

Thomas, C. E., Y. Cohen, E. L. Jourdain, and H Eyal. 1987. Use of reaction types to indentifying downy mildew resistance in muskmelons. HortScience 22: 638-640.

Thompson, P. G., H. A. Mendoza, and R. L. Plastid. 1983. Estimation of genetic parameters for characters related to potato propagation by true seed (TPS) in an Andigena population. Amer. Potato. J. 60: 393.

Tu, J. C. and V. Poysa. 1990. A brushing method of inoculation for screening tomato seedlings for resistance to *Septoria lycopersici*. Plant Dis. 74: 294-297.

Van de Dijk, S. J. 1987. Inheritance of net photosynthesis, dark respiration, stomatal resistance and related characters in tomato (*Lycopersicon esuclentum* Mill.) under low energy conditions. Euphytica 36: 193-203.

VRIC. 2007. Biotechnology applications in vegetables. Vegetable Research & Information Center, UC Davis. 2 p. The Internet.

Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, and M. R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. Env. Exp. Bot. 61: 199-223.

Walbot, V. 1977. Quick field assays for photosynthetic mutants and water potential of plant tissues. HortScience 12: 445-446.

Walden, R. 1988. Genetic transformation in plants. Open Univ. Pr., Milton Keynes. 138 p.

Walker, J. C. 1957. Plant pathology. McGraw, N. Y. 707 p.

Walker, J. C. 1959. Progress and problems in controlling plant disease by host resistance. In: C. S. Holton et al. (eds). Plant pathology: problems and progress 1908-1958. University of Wisconsin Pr., Madison.

Walker, J. C. 1965. Disease resistance in the vegetable crops. III. Bot. Rev. 31: 331-380.

Walker, J. C. 1965. Use of environmental factors in screening for disease resistance. An. Rev. Phytopathol. 3: 197-208.

Walker, J. C. 1966. Host resistance as it relates to root pathogens and soil microorganisms. In: K. F. Baker, W. C. Snyder et al. (eds). Ecology of soil-borne plant pathogens: prelude to biological control. University of California Pr., Berkely.

Walker, J. C. 1966. The role of pest control in new varieties, pp. 219-242. In: K. J. Frey (ed.). Plant Breeding. Iowa State Univ. Pr., Ames.

Wallace, D. H. and R. E. Wikinson. 1965. Breeding for Fusarium root rot resistance in beans. Phytopathology 55: 1227-1231.

Wallace, D. H., J. L. Ozbun, and H. M. Munger. 1972. Physiological genetics of crop yield. Adv. Agron. 24: 97-146.

Webb, R. E. 1955. Cotyledonary inoculation, a method for screening spinach for blight resistance. Phytopathology 45: 635.

Webster, J. M. 1985. Interaction of *Meloidogyne* with fungi on crop plants, pp. 183-192. In: J. N. Sasser and C. C. Carter (eds.). An advanced treatise on *Meloidogyne*. Vol. 1: Biology and control. Department of Plant Pathology, North Carolin State University. Raleigh, NC.

Wehner, T. C. 1999. Heterosis in vegetable crops. In: J. G. Goors and S. Pandey (eds.). Genetecs and exploitation of heterosis in crops, pp. 387-397. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

Wehner, T. C. and E. T. Gritton. 1981. Effect of the n gene on pea pod characteristics. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 181-183.

Wheeler, H. E. and H. H. Luke. 1955. Mass screening for disease-resistant mutants in oats. Science 122: 1229.

Whitaker, T. W. 1974. *Cucurbita*, pp. 135-144. In: R. C. King (ed.). Handbook of genetics. Vol. 2. Plants, plant viruses, and protists. Plenum Pr., N. Y.

Whitaker, T. W. and G. N. Davis. 1962. Cucurbits. Interscience Pub., Inc., N. Y. 249 p.

Whittington, W. J. and P. Fierlanger. 1972. The genetic control of time to germination in tomato. Ann. Bot. 36: 873-880.

Wien, H. C. 1990. Screening pepper cultivars for resistance to flower abscission: a comparison of techniques. HortScience 25: 1634-1636.

Wolff, D. W., W. W. Collins, and T. J. Monaco. 1992. Inheritance of tolerance to the herbicide Bentazon in peppers (*Capsicum annuum* L.) J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 985-990.

Wyatt, J. E., G. Fassuliotis, and A. W. Johnson. 1980. Efficacy of resistance to root-knot nematode in snap beans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105: 923-926.

Yamaguchi, T. and E. Blumwald. 2005. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. Trends in Plant Science 10 (12): 615-620.

Yarwood, C. E. 1959. Predisposition, Vol. 1: 521-562. In: J. G. Horsfall and A. E. Diamond (eds). Plant pathology: an advanced treatise. Academic Pr., N. Y.

Yassin, T. E. 1988. Inheritance of three agronomic characters in *Lycopesicon* interspecific crosses. J. Agric. Sci.. Camb. 110: 471-474.

Yeo, A. R. and T. J. Flowers. 1989. Selection for physiological characters - examples from breeding for salt tolerance. In: H. G. Jones, T. J. Flowers, and M. B. Jones (Eds). "Plants Under Stress"; pp. 217-234. Cambridge Univ. Pr., Cambridge.

Yoshiba, Y. et al. 1997. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. Plant and Cell Physiology 38 (10): 1095-1102.

Zhou, X. and Y. S. Liu. 2015. Hybridization by grafting: a new perspective. HortScience 50 (4): 520-521.



صَدَر للمؤلف

صَدَر للمؤلف الكتب التالية:

أولاً: فى مجال أساسيات وتقنيات إنتاج وتداول الخضر

١- أساسيات إنتاج الخضر وتكنولوجيا الزراعات المكشوفة والمحمية (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٩٢٠ صحة.

٢- تكنولوجيا الزراعات المحمية (الصوبات) (١٩٩٠). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٣٥ صفحة.

٣- أساسيات إنتاج الخضر فى الأراضى الصحراوية (١٩٩٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٨٥ صفحة.

٤- إنتاج وفسيولوجيا واعتماد بذور الخضر (١٩٩٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٨٥ صفحة.

٥- أساسيات وفسيولوجيا الخضر (١٩٩٨). المكتبة الأكاديمية — ٥٩٦ صفحة.

٦- تكنولوجيا إنتاج الخضر (١٩٩٨). المكتبة الأكاديمية — ٦٢٥ صفحة.

٧- الأساليب الزراعة المتكاملة لمكافحة أمراض وآفات وحشائش الخضر (١٩٩٩). المكتبة الأكاديمية — ٥٨٦ صفحة.

٨- تكنولوجيا الزراعات المحمية (١٩٩٩). المكتبة الأكاديمية — ٥٣٥ صفحة.

٩- الممارسات الزراعية لمكافحة أمراض وآفات وحشائش الخضر: البدائل العلمية والعملية المتكاملة (٢٠١٠). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٧٨٣ صفحة.

١٠- تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد حصاد الخضر الثمرية (٢٠١١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٥٢ صفحة.

١١- تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد حصاد الخضر غير الثمرية (٢٠١١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٦٤ صفحة.

١٢- أصول الزراعة العضوية: ما لها وما عليها (٢٠١١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٩٤ صفحة.

١٣- أصول الزراعة المحمية (٢٠١٢). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٨٣٦ صفحة.

١٤- أساسيات وتكنولوجيا إنتاج الخضر (٢٠١٥). دار الكتب العلمية والدار العربية للنشر والتوزيع، ومكتبة أوزوريس، والمكتبة الأكاديمية — ٩٦٨ صفحة.

١٥- تداول الحاصلات البستانية: تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد الحصاد (٢٠١٥). دار الكتب العلمية، والدار العربية للنشر والتوزيع، ومكتبة أوزوريس، والمكتبة الأكاديمية— ٥٤٨ صفحة.

١٦- الأهمية الغذائية والطبية للخضروات. (٢٠١٥). دار الكتب العلمية والدار العربية للنشر والتوزيع، ومكتبة أوزوريس، والمكتبة الأكاديمية — ٣٧٨ صفحة.

١٧- تسميد محاصيل الخضر (٢٠١٦). دار الكتب العلمية، والدار العربية للنشر والتوزيع، ومكتبة أوزوريس، والمكتبة الأكاديمية- ٦٩٣ صفحة.

١٨- عوامل الشد البيئي ووسائل الحد من أضرارها: الحلول التكنولوجية لتحديات ومعوقات إنتاج الخضر في الظروف البيئية القاسية. الدار العربية للنشر والتوزيع — القاهرة — ٦٤٨ صفحة.

١٩- بدائل المبيدات لمكافحة أمراض وآفات الخضر. الدار العربية للنشر والتوزيع — القاهرة — ٤٨٩ صفحة.

ثانيًا: فى مجال إنتاج محاصيل الخضر

١- الطماطم (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٣١ صفحة.

٢- البطاطس (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ١٨٦ صفحة.

٣- البصل والثوم (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ١٩١ صفحة.

٤- القرعيات (١٩٨٩). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٠٧ صفحات.

٥- الخضر الثمرية (١٩٨٩). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٠١ صفحة.

٦- الخضر الثانوية (١٩٨٩). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٩١ صفحة.

٧- الخضر الجذرية والساقية والورقية والزهرية (١٩٩٠). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٧٤ صفحة.

٨- إنتاج محاصيل الخضر (١٩٩١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٧١٢ صفحة.

٩- إنتاج خضر المواسم الدافئة والحارة فى الأراضى الصحراوية (١٩٩٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٨٨ صفحة.

١٠- إنتاج خضر المواسم المعتدلة والباردة فى الأراضى الصحراوية (١٩٩٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٨٥ صفحة.

١١- الطماطم: تكنولوجيا الإنتاج، والفسيولوجى، والممارسات الزراعية، والحصاد والتخزين (١٩٩٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٥١١ صفحة.

١٢- الطماطم: الأمراض والآفات ومكافحتها (١٩٩٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢١٠ صفحات.

١٣- إنتاج البطاطس (١٩٩٩). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٤٦ صفحة.

١٤- إنتاج البصل والثوم (١٩٩٩). الدار العربية للنشر والتوزيع— ٣٧١ صفحة.

١٥- القرعيات: تكنولوجيا الإنتاج، والفسيولوجى، والممارسات الزراعية، والحصاد والتخزين (٢٠٠٠). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٩٨ صفحة.

١٦- القرعيات: الأمراض والآفات ومكافحتها (٢٠٠٠). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٣٠ صفحة.

١٧- إنتاج الفلفل والباذنجان (٢٠٠١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٣٦ صفحة.

١٨- إنتاج الخضر البقولية (٢٠٠١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٢٤ صفحة.

١٩- إنتاج الفراولة (٢٠٠٢). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٨٨ صفحة.

٢٠- إنتاج الخضر الكرنبية والرمرامية (٢٠٠٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٢٧ صفحة.

٢١- إنتاج الخضر الخيمية والعليقية والقلقاسية (٢٠٠٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣١٥ صفحة.

٢٢- إنتاج الخضر المركبة والخبازية والقلقاسية (٢٠٠٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٠٠ صفحة.

٢٣- إنتاج الخضر الثانوية وغير التقليدية — الجزء الأول (٢٠٠٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٠٤ صفحات.

٢٤- إنتاج الخضر الثانوية وغير التقليدية — الجزء الثانى (٢٠٠٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٠٠ صفحة.

٢٥- إنتاج الخضر الثانوية وغير التقليدية — الجزء الثالث (٢٠٠٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٢٤ صفحة.

ثالثًا: فى مجال تربية النبات

١- أساسيات تربية النبات (١٩٩١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٦٨٢ صفحة.

٢- تربية محاصيل الخضر (١٩٩٢). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٨٠٠ صفحة.

٣- تربية النباتات لمقاومة الأمراض والآفات (١٩٩٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٧٨ صفحة.

٤- الأساس الفسيولوجى للتحسين الوراثى فى النباتات: التربية لزيادة الكفاءة الإنتاجية وتحمل الظروف البيئية القاسية (١٩٩٥). المكتبة الأكاديمية — ٣٢٨ صفحة.

٥- الأسس العامة لتربية النبات (٢٠٠٥). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٧٧ صفحة.

٦- طرق تربية النبات (٢٠٠٥). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٩٣ صفحة.

٧- تحسين الصفات الكمية: الإحصاء البيولوجى وتطبيقاته فى برامج تربية النبات (٢٠٠٥). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٥١ صفحة.

٨- التكنولوجيا الحيوية وتربية النبات (٢٠٠٧). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٧٨٣ صفحة.

٩- تطبيقات تربية النبات فى مكافحة الأمراض والآفات (٢٠٠٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٥٨٥ صفحة.

١٠- تربية النبات لتحمل الظروف البيئية القاسية (٢٠١٢). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٥٤٤ صفحة.

رابعًا: فى مجال أصول البحث العلمى والكتابة العلمية

١- أصول البحث العلمى — الجزء الأول: المنهج العلمى وأساليب كتابة البحوث والرسائل العلمية (١٩٩٦). المكتبة الأكاديمية — ٤١٧ صفحة.

٢- أصول البحث العلمى — الجزء الثانى: إعداد وكتابة ونشر البحوث والرسائل العلمية (١٩٩٦). المكتبة الأكاديمية — ٢٧٣ صفحة.

٣- أصول إعداد ونشر البحوث والرسائل العلمية (٢٠٠٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٧٧٠ صفحة.